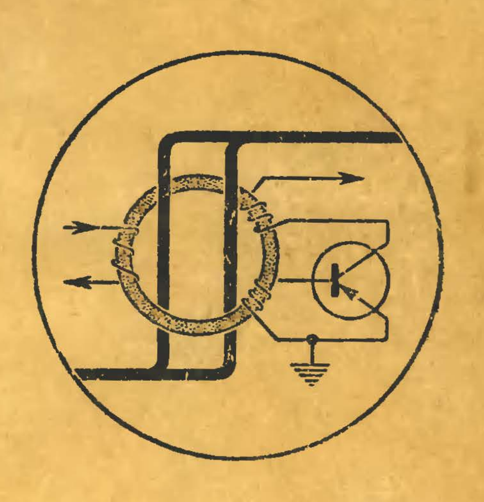
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

Е. М. МАРТЫНОВ

БЕСКОНТАКТНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕСЯ УСТРОЙСТВА





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 316

Е. М. МАРТЫНОВ

БЕСКОНТАКТНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕСЯ УСТРОЙСТВА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1958 ЛЕНИНГРАД

В книге изложены принципы работы бесконтактных переключающихся устройств на полупроводниковых приборах и магнитных элементах с прямоугольной петлей гистерезиса. Приведены практические схемы, даны рекомендации и формулы для расчета.

Книга рассчитана на подготовленных радиолюбителей и может быть полезна инженерно-техническим работникам.

Мартынов Евгений Михайлович
БЕСКОНТАКТНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕСЯ УСТРОЙСТВА

Редактор *А. Г. Соболевский* Техн. редактор *Г. И. Матвеев*

Сдано в набор 15/IX 1958 г. Подписано к печати 1/XII 1958 г.
Т-11661 Бумага 84×108¹/₃₂ 4,1 печ. л. Уч.-изд. л. 4,6
Тираж 65 000 экз. (2-й завод 1 001—65 000). Цена 1 р. 85 к. Заказ 1425

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация производственных процессов в самых различных отраслях народного хозяйства является одной из неотложных задач настоящего времени.

Для всемерного внедрения автоматического управления, а также развития автоматизированных вычислительных машин требуются переключающиеся устройства релейного действия, обладающие свойствами электромагнитных реле, но без механических контактов, так как последние в сложных устройствах не обеспечивают достаточного быстродействия и надежности в работе.

К бесконтактным переключающимся устройствам релейного действия относятся усилители, работающие при больших сигналах (в режиме ограничения), триггеры, мультивибраторы, блокинг-генераторы и ряд устройств, выполняющий логические операции в вычислительных машинах, приборах автоматики и другой аппаратуре.

Элементы, обладающие релейными свойствами, часто называют двоичными, так как они могут находиться либо в одном, либо в другом положении по аналогии с двоичной системой счисления в математике, в которой существует два дискретных значения — «1» и «0».

Для создания переключающихся элементов могут быть использованы электронные явления в вакууме, в полупроводниках, ионные явления в газах, магнитные явления в ферромагнетиках и т. д.

В каждом из используемых явлений в том или ином виде существует нелинейная зависимость между физическими величинами. Эта нелинейность в известных условиях может создать скачкообразный переход из одного устойчивого состояния в другое, что необходимо для образования двоичного элемента.

Прежде чем приступить к изложению принципов действия бесконтактных переключающихся устройств, необходимо отметить ряд их особенностей.

Во-первых, если для релейно-контактного переключающего устройства устойчивые состояния очевидны и представляют собой способность его контактов пропускать или не пропускать электрический ток, то для бесконтактного устройства речь может идти о двух различных состояниях какого-либо электрического параметра, например, величины напряжения и тока или продолжительности соответствующего импульса тока или напряжения. Будем считать, что по аналогии с релейно-контактными устройствами состоянию «включено» бесконтактного элемента соответствует выдача «полезного сигнала», а ток или напряжение, выдаваемые в другом состоянии, соответствующем состоянию «выключено», являются «помехой», которая должна быть возможно меньшей.

Обычно отношение полезного сигнала к помехе, называемое коэффициентом перепада K, в релейно-контактных устройствах практически равно бесконечности, а в бесконтактных устройствах представляет конечное число, не превышающее нескольких десятков:

$$K=\frac{I_{сигн}}{I_{пом}} \quad \text{или} \quad K=\frac{U_{сигн}}{U_{пом}}. \qquad (1)$$

Опыт показывает, что при K, меньшем десяти, построение схем весьма затруднительно. Обычно когда коэффициенты перепада находятся в пределах 10—20, говорят, что устройство работает в режиме «да — нет», т. е. в условиях, когда на вход (или выход) схемы сигнал либо поступает, либо не поступает. В таком режиме довольно широкое изменение параметров триодов, магнитных сердечников и других элементов, входящих в устройство, не оказывает влияния на работоспособность схемы.

Во-вторых, состояния устройства должны быть устойчивыми, и само устройство не должно самопроизвольно срабатывать от импульсов помех. Иногда недостаточно устойчивые состояния, даже при высоком коэффициенте перепада, существенно влияют на надежность действия устройства в целом.

В-третьих, устройство должно обеспечивать удобство съема результата («считывание» записанной информации), а также возможность передачи результата «записи» (например, состояния, соответствующего «1») из одной ячейки в другие, т. е. ячейки должны обладать усилительными свойствами. При последовательном или параллельном соединении таких ячеек должно исключаться обратное воздействие

последующей ячейки на предыдущую (должен отсутствовать «обратный поток информации»). Выполнение этого условия обеспечивает возможность сочетания отдельных переключающихся ячеек в общие схемы.

Описываемые в данной книге переключающиеся устройства на полупроводниковых приборах и магнитных элементах, являющиеся сравнительно новыми, но в то же время достаточно освоенными промышленностью, обладают весьма ценными качествами: малыми размерами, высокой вибро- и ударостойкостью, способностью работать при низких напряжениях питания, высоким к. п. д. и весьма большим сроком службы. Все это позволяет применять эти переключающие приборы во многих областях техники, где они ранее не могли применяться вследствие недостатков, свойственных электронным лампам.

К недостаткам полупроводниковых приборов и магнитных элементов, обусловливаемым современной технологией их изготовления, следует отнести неодинаковость их параметров у образцов одного и того же типа, а также значительную зависимость параметров от температуры и режима работы.

Несмотря на эти недостатки, указанные приборы можно с успехом применять в самых разнообразных устройствах, так как влияние параметров отдельного прибора на параметры каскада, а также влияние окружающей температуры можно сделать достаточно малым путем соответствующего построения и расчета схемы. Кроме того, не во всех случаях аппаратура должна работать в широком диапазоне температур.

Цель данной книги — ознакомить радиолюбителей с работой переключающихся устройств на полупроводниковых приборах и магнитных элементах, применяемых в системах, работающих с информацией дискретного вида, а также с принципами построения и расчетом таких схем.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕСЯ УСТРОЙСТВА НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДАХ

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКОСТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДОВ

Переключающиеся устройства могут быть выполнены как на триодах плоскостного, так и точечного типа. Наибольшее применение находят плоскостные триоды, так как они по сравнению с точечными триодами имеют меньший разброс

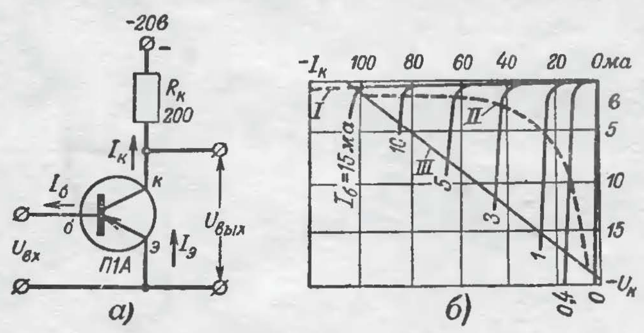


Рис. 1. Схема включения триода с общим эмиттером (*а*) и статические коллекторные характеристики триода П1А (*б*).

I — линия насыщения; *II* — допустимая мощность рассеяния; *III* — линия нагрузки при $R_к$ = 200 *ом*, $U_{к0}$ = 20 *в*.

параметров и меньшую их зависимость от температуры. Кроме того, точечные триоды имеют меньшую допустимую мощность рассеяния и недостаточную механическую прочность.

Для использования плоскостных триодов в переключающихся устройствах наиболее подходящей является схема с общим эмиттером, приведенная на рис. 1,*а*. Подобное включение триода дает наибольшее усиление по току и одно-

временно обеспечивает перевертывание фазы напряжения без применения трансформатора.

На рис. 1,*б* приведены коллекторные характеристики триода П1А, включенного по схеме рис. 1,*а*. Как видно из характеристик, чтобы в триоде при заданной величине коллекторного сопротивления установился максимальный коллекторный ток $I_к \approx \frac{U_{к0}}{R_к}$ (называемый током насыщения триода), необходимо ток базы увеличить до величины $I_б = \frac{I_к}{\beta}$, где β* — коэффициент усиления триода. В этом случае триод будет находиться в открытом состоянии. В открытом триоде падение напряжения $U_п$ между коллектором и эмиттером составляет величину порядка 0,1 — 0,5 *в*, а сопротивление постоянному току — порядка 1 — 25 *ом*.

При уменьшении тока базы до нуля ток коллектора уменьшается до величины порядка 0,03—0,1 *ма*. При подаче на базу напряжения обратной полярности (положительного по отношению к эмиттеру) коллекторный ток уменьшается незначительно и при напряжениях, бóльших чем 0,02—0,05 *в*, остается почти постоянным и равным 0,01—0,03 *ма*, т. е. управление триодом прекращается. Ток коллектора при $I_б = 0$ называется неуправляемым током коллектора и обозначается $I_{к0}$, а само состояние триода — закрытым. Сопротивление закрытого триода постоянному току изменяется в пределах от нескольких килоом до 1,5 *Мом*.

Таким образом, работа плоскостных триодов в переключающихся схемах оказывается подобной работе обычных электромеханических реле. Преимущество переключающихся схем на триодах заключается в значительно большей скорости срабатывания и отсутствии переходных контактов. Так, маломощный триод типа П1А в схеме рис. 1,*а* может совершенно свободно коммутировать ток порядка 100 *ма* в сотни раз быстрее электромеханических реле.

---

* Коэффициент $\beta = \frac{I_к}{I_б}$, измеренный при $U_{к0} = 0{,}5$ *в*, $R_к = 0$ и заданном значении $I_к$, будем называть средним коэффициентом усиления триода по току для схемы с общим эмиттером, который при $I_б = 1$ *ма* почти совпадает с дифференциальным коэффициентом усиления $\beta_к = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б}$ при $U_к = \text{const}$, указанным в паспорте триода. Этот коэффициент усиления будем называть номинальным,

С увеличением тока коллектора усиление триода по току β падает (рис. 2). При $I_к = 100$ *ма* величина β для триода типа П1А составляет лишь 3—5. Однако следует иметь в виду, что коэффициент усиления по мощности

$$K_м = \frac{R_к I_к^2}{U_{вх} I_б} \qquad (2)$$

остается достаточно большим. Например, для приведенного случая при $U_{к0} = 20$ *в*, $I_к = 100$ *ма*, $K_м \approx 300$.

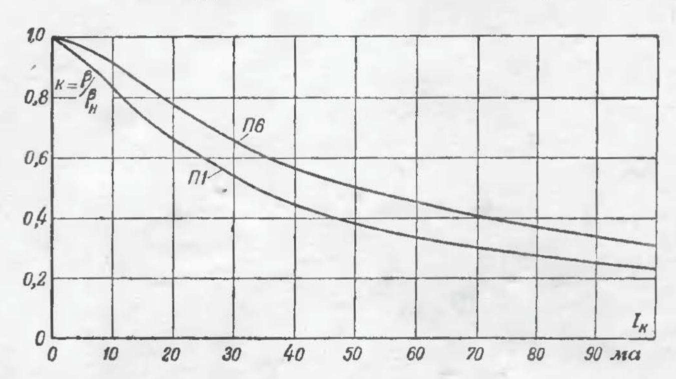


Рис. 2. Относительная зависимость $\beta/\beta_н$ от $I_к$ для триодов типов П1 и П6.

Работа переключающихся схем на плоскостных триодах, как правило, происходит при больших управляющих сигналах, амплитуда которых достаточна для полного открытия или закрытия триода. В этом случае поведение триода отлично от работы в обычных усилительных схемах низкой частоты. Так, при большом токе входного импульса в схеме рис. 1,*а* триод может оставаться в насыщенном, т. е. открытом, состоянии в течение некоторого времени, даже после выключения входного тока. Это обусловливается тем, что при полном открытии триода в его базе появляется избыточная концентрация неосновных носителей заряда[1], а так как при этом потенциал коллектора мал, то после выключения входного

[1] Характерные для каждого слоя полупроводника носители электрического заряда, определяемые видом содержащейся в нем примеси, называются основными, тогда как носители противоположного типа, вводимые извне, называются неосновными. Например, для триодов с переходом типа *p-n-p* для базы основными носителями заряда являются электроны, а неосновными — дырки, приходящие из эммиттера.

тока неосновные носители продолжают рекомбинироваться и тем самым как бы удлиняют время действия входного импульса. По этим причинам время выключения триода в 2—3 раза больше, чем время включения.

Это свойство иногда может оказаться полезным. Так, например, импульсы длительностью 10—20 *мксек* с помощью триода можно удлинить до 30—50 *мксек.*

ТРИГГЕР С ДВУМЯ УСТОЙЧИВЫМИ СОСТОЯНИЯМИ

Рассмотренная выше схема, по существу, является однополюсным выключателем. Если выход этой схемы (рис. 1,*а*) соединить со входом второй, аналогичной схемы, а выход второй схемы со входом первой, то получим переключатель с двумя устойчивыми состояниями равновесия — триггер (рис. 3).

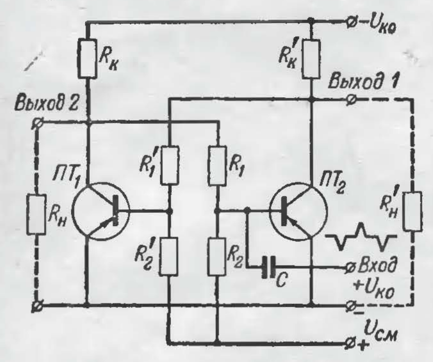


Рис. 3. Схема триггера с батареей смещения.

В такой схеме, как и в аналогичной ламповой схеме, всегда один триод открыт, а другой закрыт. Например, если левый триод $ПТ_1$ открыт, то с делителя напряжения R_1, R_2, включенного между коллектором триода $ПТ_1$ и источником положительного смещения, на базу триода $ПТ_2$ подается положительный потенциал, который закрывает этот триод. Напряжение с коллектора триода $ПТ_2$, почти равное отрицательному напряжению источника питания, поступает через делитель напряжения R'_1, R'_2 на базу триода $ПТ_1$ и тем самым надежно его открывает. Схема, таким образом, находится в одном из устойчивых состояний.

Для перехода схемы в другое устойчивое состояние необходимо приложить к базе закрытого триода короткий отрицательный импульс или к базе открытого триода — положительный импульс.

Чтобы произвести расчет триггера, работающего на плоскостных полупроводниковых триодах, необходимо выбрать величину тока коллектора $I_к$ открытого триода. При этом следует учитывать следующее.

Во-первых, чтобы не увеличивать значительно напряжение источников питания при наличии нагрузки на триггер по постоянному току $R_н$, ток $I_к$ должен быть в 1,5—2 раза больше тока внешней нагрузки $I_н$:

$$I_к \geqslant (1,5 \div 2)\, I_н. \qquad (3)$$

Во-вторых, при изменении окружающей температуры у полупроводниковых триодов значительно изменяется ток $I_{к0}$. Это требует выбора достаточно низкоомной коллекторной нагрузки, чтобы падение напряжения на ней, обусловленное током $I_{к0}$, в любых рабочих условиях было достаточно мало по сравнению с перепадом напряжения при переходе триода от закрытого состояния к открытому, т. е.

$$I_к \geqslant (10 \div 20)\, I'_{к0}, \qquad (4)$$

где $I'_{к0}$ — неуправляемый ток коллектора при наивысшей расчетной температуре.

С ростом температуры ток $I_{к0}$ у плоскостных триодов увеличивается по экспоненциальному закону, т. е. возрастает примерно вдвое при повышении температуры на каждые 10° С. Следовательно ток $I'_{к0}$ может быть определен из уравнения

$$I'_{к0} = I_{к0} \cdot 2^{\frac{t' - t}{10}}, \qquad (4а)$$

где $I_{к0}$ — неуправляемый ток коллектора при температуре $t = 20°$ С, при которой обычно производятся измерения всех параметров триода, приводимых в паспорте;

t' — наивысшая расчетная температура.

В-третьих, плоскостным триодам свойственна большая „ползучесть" ($\Delta I_{к0}$) неуправляемого тока коллектора (изменение $I_{к0}$ со временем), причем чем больше напряжение на коллекторе закрытого триода ($U_к$), тем больше „ползучесть" тока $I_{к0}$. Это связано с несовершенством современной технологии изготовления триодов. Исходя из

этого, минимальный ток коллектора при любой рабочей температуре должен соответствовать

$$I_{к.мин} \geqslant \gamma U_к, \qquad (5)$$

где γ — коэффициент надежности. Для триодов П1 и П6 коэффициент γ должен составлять не менее 0,4 — 0,5 *ма/в*.

Кроме того,

$$I_к \leqslant I_{к.п}, \qquad (6)$$

где $I_{к.п}$ — допустимый ток коллектора в режиме переключения.

Величины сопротивлений и напряжений источников питания определяются по следующим формулам.

Сопротивление коллекторной нагрузки

$$R_к = \frac{U_к}{I_к\left(1 - \frac{1}{\beta}\right) - I_н}, \qquad (7)$$

где $U_к$ — напряжение на коллекторе закрытого триода или на внешней нагрузке $R_н$, равное $I_н R_н$;

$I_н$ — ток во внешней нагрузке.

Напряжение на коллекторе закрытого триода $U_к$ должно быть не более допустимого напряжения $U_{к.д}$ для выбранного типа триода, т. е.

$$U_к \leqslant U_{к.д}. \qquad (8)$$

Напряжение источника питания

$$U_{к0} = U_к + R_к \frac{I_к}{\beta} + I_н R_к. \qquad (9)$$

Напряжение источника смещения

$$U_{см} = (0{,}2 \div 0{,}25)\, U_{к0}. \qquad (10)$$

Сопротивление

$$R_1 \leqslant \frac{R_к R_н}{R_к + R_н}(\beta - 1) - \frac{U_{см}(U_з + U_п)\beta}{I_к(U_{см} - U_з)}, \tag{11}$$

где $U_з$ — напряжение между базой и эмиттером закрытого триода, необходимое для надежного закрытия триода (порядка 0,2 — 0,5 *в*).

Величину $U_п$ следует выбирать порядка 0,5 *в*. При меньших величинах $U_п$ происходит насыщение триодов и, следовательно, уменьшается быстродействие триггера.

При отсутствии внешней нагрузки ($R_н = \infty$)

$$R_1 \leqslant R_к(\beta - 1) - \frac{U_{см}(U_з + U_п)\beta}{I_к(U_{см} - U_з)}; \tag{12}$$

$$R_2 \geqslant \frac{U_{см} - U_з}{U_з + U_п} R_1. \tag{13}$$

Средний коэффициент усиления β определяется по коллекторным характеристикам триода или при отсутствии таковых берется из паспорта триода. Так как в паспорте обычно дается номинальный коэффициент усиления по току $\alpha_н$ для схемы с общей базой, то величину β при заданном значении коллекторного тока можно определить из графика на рис. 2. Для этого необходимо предварительно найти номинальный коэффициент усиления $\beta_н$ для схемы с общим эмиттером по формуле

$$\beta_н = \frac{\alpha_н}{1 - \alpha_н}. \tag{14}$$

В случае применения автоматического смещения (рис. 4) величина $R_в$ определяется по формуле

$$R_э = \frac{U_{см}}{I_к\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) + I_н}. \tag{15}$$

Напряжение источника питания в этом случае следует повысить на величину падения напряжения на сопротивлении автоматического смещения

$$U'_{к0} = U_{см} + U_{к0}. \tag{16}$$

Пример расчета. Требуется рассчитать симметричный триггер на триодах П1А, схема которого приведена на рис. 4, где $R_к = R'_к$, $R_1 = R'_1$, $R_2 = R'_2$, $R_н = R'_н$.

Задано: предельная окружающая температура $t' = 60°$ С, $R_н = 5\,000$ *ом*, $I_н = 2$ *ма*, $U_к = 10$ *в* (напряжение на внешней нагрузке).

1. Из паспорта триода находим $a_н \geqslant 0{,}9$, $I_{к0} = 30$ *мка* при $U_к = 10$ *в* и $t = 20°$ С и $U_{к.д} = 20$ *в*. При других значениях $U_к$ ток $I_{к0}$ изменяется почти пропорционально напряжению (см. стр. 67).

2. Режим триггера выбираем на границе насыщения ($U_n = 0{,}5$ *в*), при котором обеспечивается достаточное быстродействие и в то же время полностью открытое состояние триодов.

Напряжение запирания $U_з$ принимаем равным 0,5 *в*.

3. Проверяем выполнимость неравенства (8):

$$10 < 20.$$

4. Из уравнений (3), (4) и (4а) находим, с одной стороны, $I_к = 20 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 16 = 9{,}6$ *ма*, а с другой — $I_к \geqslant (1{,}5 \div 2)\,2 = 3 \div 4$ *ма*. Принимаем $I_к = 9{,}6$ *ма* и проверяем выполнимость уравнений (5) и (6).

Для триодов П1 ток $I_{к.п}$ (в паспорте не указан) можно считать таким же, как и для П6, равным 50 *ма*:

$$0{,}5 \cdot 10 < 9{,}6 < 50.$$

5. Определяем $\beta_н = \dfrac{a_н}{1 + a_н} \approx 9$ и затем по графику рис. 2 находим β при $I_к = 9{,}6$ *ма*:

$$\beta = \beta_н \cdot K = 9 \cdot 0{,}85 = 7{,}6.$$

6. По уравнению (7) находим:

$$R_к = \frac{10}{9{,}6\left(1 - \dfrac{1}{7{,}6}\right) - 2} \approx 1{,}5 \text{ ком}.$$

7. Определяем по уравнениям (9) и (10):

$$U_{к0} = 10 + \frac{1{,}5 \cdot 9{,}6}{7{,}6} + 2 \cdot 1{,}5 \approx 15 \text{ в}; \quad U_{см} = 0{,}2 \cdot 15 = 3 \text{ в}.$$

8. По уравнениям (11) и (13) находим:

$$R_1 = \frac{1{,}5 \cdot 5}{1{,}5 + 5}\,(7{,}6 - 1) - \frac{3\,(0{,}5 + 0{,}5)\,7{,}6}{9{,}6\,(3 - 0{,}5)} \approx 7{,}5 \text{ ком};$$

$$\frac{3 - 0{,}5}{0{,}5 + 0{,}5} \cdot 7{,}5 \approx 20 \text{ ком}.$$

9. Величину сопротивления $R_э$ определяем из уравнения (15):

$$R_э = \frac{3}{9{,}6\left(1 + \frac{1}{7{,}6}\right) + 2} \approx 210 \text{ ом.}$$

10. Напряжение источника питания находим из уравнения (16):

$$U'_{к0} = 15 + 3 = 18 \text{ в.}$$

В случае несимметричной схемы ($R_н \neq R'_н$), а также при разных коэффициентах усиления триодов каждое плечо схемы рассчитывается отдельно.

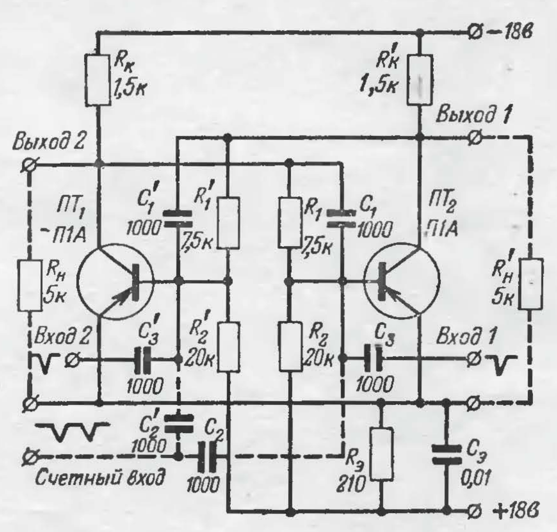


Рис. 4. Схема триггера с автоматическим смещением.

Схема с автоматическим смещением, приведенная на рис. 4 и рассчитанная по приведенным выше формулам, надежно работает от импульсов отрицательной полярности длительностью 5 *мксек* и амплитудой 20—25 *в*.

При включении параллельно сопротивлениям R_1, R'_1 конденсаторов C_1, C'_1, ускоряющих рассасывание неосновных носителей, накапливаемых на базе открытого триода, амплитуда запускающих импульсов может быть уменьшена до 3 — 4 *в*.

ТРИГГЕР БЕЗ ИСТОЧНИКА СМЕЩЕНИЯ

Триггер с двумя устойчивыми состояниями на плоскостных триодах может работать и без источника смещения. В таких триггерах запирание триодов происходит за счет нелинейности входной вольт-амперной характеристики триодов.

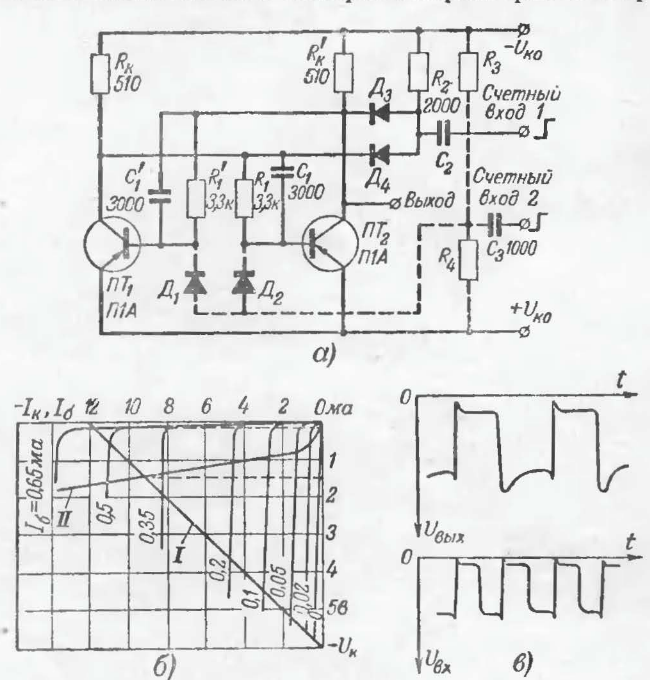


Рис. 5. Схема триггера без смещения (*а*), статические коллекторные характеристики триода П1А (*б*) (*I*—линия нагрузки при $R_к = 510$ *ом* и $U_{к0} = 6$ *в*; *II* — входная вольт-амперная характеристика триода) и форма импульсов на входе и выходе триггера (*в*).

Входная вольт-амперная характеристика триода (рис. 5,*б*) представляет зависимость между током и напряжением, подводимым к базе. Из этой характеристики следует, что если на базу триода подается незначительное напряжение (порядка 0,2—0,3 *в*), то триод практически остается закрытым.

Схема триггера без положительного смещения изображена на рис. 5,*а*. Для надежного переключения этой

схемы требуется выбрать величины сопротивлений $R_1 = R'_1$ такими, чтобы через базу открытого триода протекал ток, равный $I_к/\beta$. В этом случае напряжение на коллекторе открытого триода, например $ПТ_1$, а также на базе другого — $ПТ_2$ будет невелико. Ток базы $ПТ_2$ при этом отсутствует, а сам триод находится в закрытом состоянии.

Поскольку на базу закрытого триода не подается запирающее напряжение, то протекание тока $I_{к0}$ по эмиттеру вызывает приоткрывание триода и тем самым как бы увеличивает ток утечки триода в $\beta_н$ раз. В этом случае уравнение (4) запишется в следующем виде:

$$I_к \geqslant (5 \div 10)\, I'_{к0}\beta_н. \tag{17}$$

Сопротивление R_1 может быть определено по следующей формуле:

$$R_1 \leqslant \frac{R_к R_н}{R_к + R_н}(\beta - 1). \tag{18}$$

Для работы триггера при температурах свыше 40° С рекомендуется включать между базой и эмиттером сопротивления порядка 2—3 *ком*, уменьшающие приоткрывание триода током утечки.

В остальном расчет схемы осуществляется аналогично рассмотренному выше.

Данная схема содержит меньшее количество деталей и источников питания. К числу недостатков схемы следует отнести большее потребление энергии от источника питания, в несколько раз меньшую скорость переключения и при наличии конденсаторов C_1, C'_1 — искажение формы выходных импульсов (рис. 5,*в*).

СПОСОБЫ ЗАПУСКА ТРИГГЕРНЫХ СХЕМ

Запуск (переключение) триггера может осуществляться различными способами. На рис. 3 показана схема для случая, когда запускающие импульсы различной полярности подаются на базу одного из триодов. При этом переход схемы из одного состояния в другое осуществляется поочередно, соответственно смене полярности поступающих импульсов.

Запуск схемы можно осуществлять также от двух независимых управляющих импульсов одинаковой полярности, подавая их на базу каждого триода (рис. 4).

В некоторых случаях запуск требуется осуществлять от каждого импульса одной и той же полярности, например, при использовании триггера в качестве делителя, счетчика импульсов и др. В этих случаях управляющие импульсы положительной или отрицательной полярности подаются одновременно через разделительные конденсаторы на базы (на рис. 4 показаны пунктиром) или коллекторы обоих триодов. Форма этих импульсов желательна остроконечная с плавным спадом, длительность их не должна быть меньше времени срабатывания схемы.

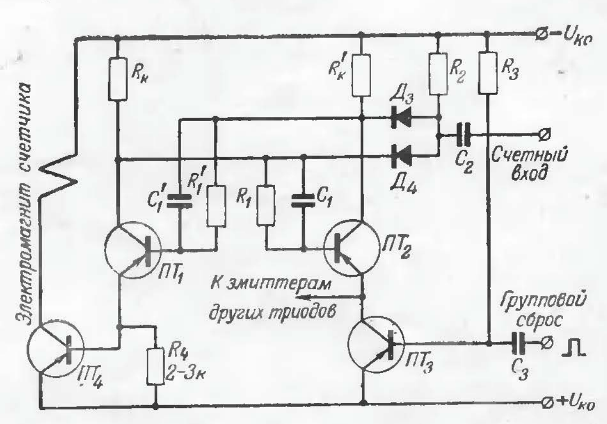


Рис. 6. Схема включения управляющего ($ПТ_3$) и усиливающего ($ПТ_4$) триодов.

Запуск через разделительные конденсаторы имеет два существенных недостатка. В момент опрокидывания триггера емкость разделительного конденсатора оказывается присоединенной параллельно входу триода, в результате чего процесс опрокидывания замедляется. Кроме того, через разделительные конденсаторы может происходить обратное воздействие переключающегося устройства на источник запускающих импульсов, нарушающее нормальную работу последнего.

Эти недостатки отсутствуют при запуске устройства через разделительные точечные германиевые диоды, подключаемые к коллекторам или базам триодов (рис. 5,*а*). В этом случае разделительный конденсатор оказывается подключенным к одному из триодов только в начале опрокидывания.

Одновременное переключение группы триггеров (например, в исходное состояние) рекомендуется осуществлять при помощи общего дополнительного триода $ПТ_3$ (рис. 6), кото-

рый в нормальном состоянии полностью открыт. При подаче на его базу положительного импульса триод закрывается и разрывает цепь питания одного из триодов каждого триггера данной группы. Триггеры переходят в исходное состояние. На этом же рисунке показан наиболее эффективный способ включения усилительного триода $ПТ_4$ (например, для питания электромагнита механического счетчика импульсов), при котором для усиления используется весь ток, протекающий по эмиттеру открытого триода триггера.

Если при запуске триггера от импульсов разной полярности, подаваемых на базу одного из триодов, или импульсов одинаковой полярности, подаваемых раздельно на каждый триод, ускоряющие конденсаторы не являются обязательными, то при одновременной подаче импульсов на оба триода наличие этих конденсаторов является обязательным. Роль их в этом случае —«запомнить» предыдущее состояние триггера и тем самым осуществить правильное переключение.

Ускоряющие емкости подбираются опытным путем с учетом приближенного условия

$$T \gg CR_1 \gg t_з, \qquad (19)$$

где $t_з$ — длительность запускающего импульса;

T — период повторения импульсов.

Триггер со смещением на триодах П1И, П6Г, работающих при $U_п \approx 0{,}5\ в$, с ускоряющими конденсаторами и при запуске на коллекторы через точечные германиевые диоды допускает $5 \cdot 10^5$ переключений в секунду, а при $U_п = 1{,}5 \div 2\ в$ — более $7 \cdot 10^5$ переключений.

ТРИГГЕР С НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ СВЯЗЬЮ

Триггер, схема которого приведена на рис. 7, состоит всего из двух триодов и двух сопротивлений. Он работает следующим образом. Предположим, что триод $ПТ_1$ открыт, напряжение на его коллекторе мало и поэтому неспособно открыть триод $ПТ_2$. На коллекторе этого триода повышенное напряжение, которое, в свою очередь, поддерживает открытым триод $ПТ_1$.

Чтобы опрокинуть триггер, необходимо понизить напряжение на базе открытого триода или, что то же самое, напряжение на коллекторе закрытого триода.

Два способа управления триггером показаны на рис. 8. Если триод $ПТ_1$ закрыт, то отрицательный сигнал достаточной величины, поданный на базу триода $ПТ_4$, откроет его, и напряжение на его коллекторе упадет почти до нуля. При этом напряжение на базе триода $ПТ_2$ также понизится, в результате чего триод $ПТ_2$ закроется, а триод $ПТ_1$ откроется. Для надежного опрокидывания триггера управляющий сигнал должен иметь длительность не менее 25—30 *мксек*. Максимальное число срабатываний в секунду при использовании

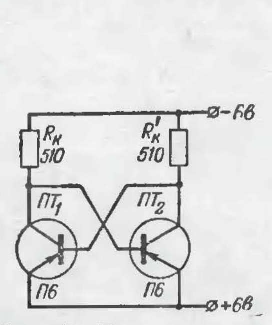


Рис. 7. Схема триггера с непосредственной связью.

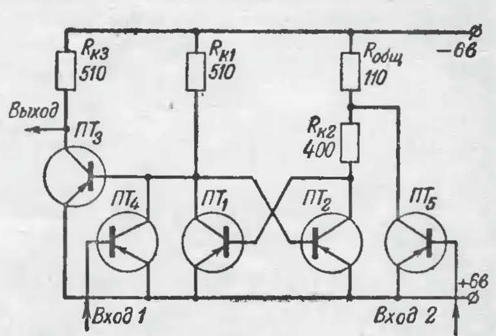


Рис. 8. Схема включения управляющих и усиливающих триодов.

триодов ПIЕ или ПIЖ составляет $(15 \div 20) \cdot 10^3$. Амплитуда управляющего сигнала почти прямо пропорционально зависит от тока в коллекторных цепях и, например, при напряжении источника питания 6 *в* и $R_к = 510$ *ом* составляет 0,7—0,8 *в*.

Триод $ПТ_5$ можно использовать для одновременного управления несколькими триггерами. В этом случае сопротивление $R_{общ}$ является общим для управляемых триггеров. Триод $ПТ_3$ — усилитель напряжения.

В ряде случаев от триггера требуется выполнение определенных логических операций. Например, он должен сработать только тогда, когда на него от других управляющих устройств поступят одновременно два или более сигналов или, наоборот, от одного из поступивших сигналов. В первом случае управляющие триоды присоединяются к триггеру последовательно (рис. 9,*а*), а во втором—параллельно (рис. 9,*б*).

Последовательное соединение триодов образует логическую цепочку «И», т. е. управляющий сигнал на выходе этой

цепочки появится только при одновременном поступлении сигналов на все входы (*и* на вход *1*, *и* на вход *2*, *и* на вход *3*).

При параллельном соединении триодов образуется логическая цепочка «ИЛИ», т. е. сигнал на выходе появится при поступлении *или* на один, *или* на другие входы.

Комбинированное соединение управляющих триодов позволяет создать любую зависимость опрокидывания переключающегося устройства от управляющих импульсов. Одна из схем такого управления приведена на рис. 9,*в*. Если

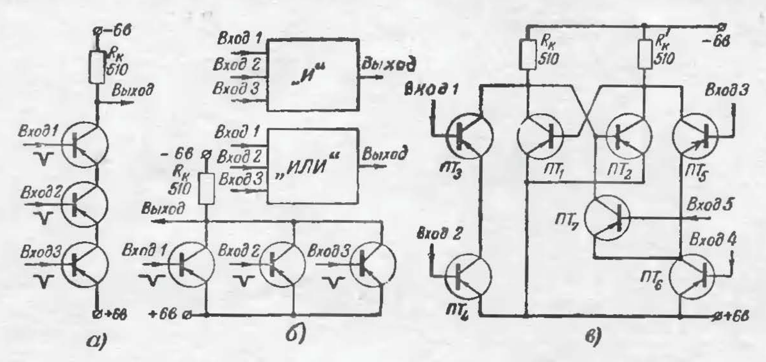


Рис. 9. Управление переключением триггера с непосредственной связью при помощи логических цепочек „И" (*а*) и „ИЛИ" (*б*) и их комбинированное включение (*в*).

в схеме закрыт триод $ПТ_1$, опрокидывание может произойти только при одновременном поступлении управляющих импульсов на базы триодов $ПТ_3$ и $ПТ_4$ или $ПТ_6$ и $ПТ_7$. Если же закрыт $ПТ_2$, опрокидывание спускового устройства может произойти только при одновременном поступлении управляющих импульсов на $ПТ_5$ и $ПТ_6$.

Способы управления переключением триггеров с непосредственной связью могут быть применимы и к другим описанным триггерам.

МУЛЬТИВИБРАТОРЫ

Мультивибратор является релаксационным генератором, вырабатывающим колебания прямоугольной формы. Обычно он применяется в устройствах автоматики в качестве автоматического переключателя. Схема мультивибратора приведена на рис. 10,*а*.

Пусть на оба триода подано напряжение питания. В симметричной схеме токи в обоих триодах вначале могут быть

равны, однако неизбежно появление некоторой, пусть очень малой, несимметрии, например, за счет флуктуаций.

Допустим, что коллекторный ток триода $ПТ_2$ получил приращение. В результате напряжение на коллекторе триода $ПТ_2$ несколько понизится. Так как напряжение на конденсаторе связи C с триодом $ПТ_1$ не может мгновенно измениться, то при этом понизится отрицательное напряжение на базе триода $ПТ_2$ и, следовательно, к дальнейшему росту его кол-ное напряжение на коллекторе триода $ПТ_1$ повысится, что

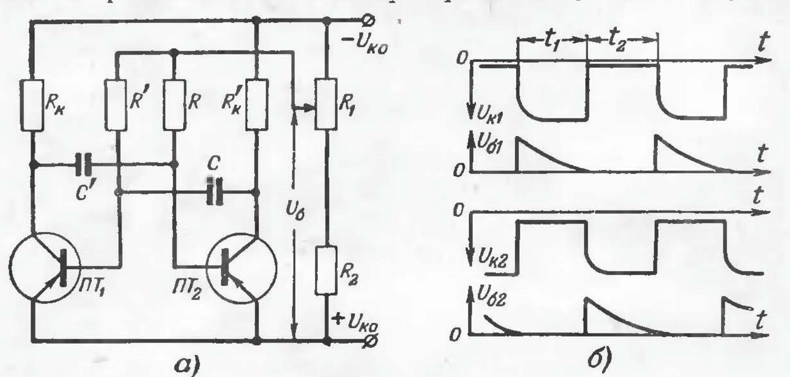


Рис. 10. Схема мультивибратора (*а*) и форма импульсов на электродах триодов (*б*).

приведет к увеличению отрицательного напряжения на базе триода $ПТ_2$ и, следовательно, к дальнейшему росту его коллекторного тока.

Таким образом, возникающие в мультивибраторе процессы стремятся увеличить случайно появившуюся несимметрию. Эти процессы происходят очень быстро и уже через промежуток времени, измеряемый долями микросекунды, один из триодов (например, $ПТ_1$) окажется запертым, а второй триод (например, $ПТ_2$) будет открыт.

Схема остается в таком состоянии в течение определенного промежутка времени, пока происходит разряд конденсатора C на сопротивление R' через проводящий триод $ПТ_2$, и на базе триода $ПТ_1$ поддерживается положительное напряжение. По мере разряда конденсатора это напряжение уменьшается и, наконец, становится почти равным нулю. Вслед за этим в триоде $ПТ_1$ появляется коллекторный ток, что приводит к понижению отрицательного напряжения на базе триода $ПТ_2$. В результате отрицательное напряжение на коллекторе триода $ПТ_2$ повышается. Это приращение на-

пряжения передается через конденсатор C на базу триода $ПТ_1$, и его коллекторный ток еще более увеличивается.

Процесс протекает лавинообразно, и схема с большой скоростью переходит в другое состояние.

В следующем цикле происходят заряд конденсатора C и разряд конденсатора C', который завершается переходом устройства в первоначальное состояние, и т. д.

Расчет симметричного мультивибратора при заданном напряжении источника питания $U_{к0}$ можно произвести по следующим формулам:

1. Сопротивление

$$R_к = \frac{U_{к0}}{I_к}, \tag{20}$$

где $I_к$ определяется из уравнений (4), (5) и (6).

2. Сопротивление

$$R = 0{,}8\beta R_к \frac{U_{б.мин}}{U_{к0}}, \tag{21}$$

где $U_{б.мин}$ — минимальное напряжение источника, питающего базы триодов.

3. Период колебаний симметричного мультивибратора

$$T = t_1 + t_2 = 2RC \ln\left[\frac{U_б + U_к}{U_б}\right]. \tag{22}$$

С изменением напряжения $U_б$, например, при помощи потенциометра R_1, изменяется частота мультивибратора.

При равенстве $U_к \approx U_{к0} = U_б$ (так как $U_к = U_{ко} - I_{к0}R_к \approx \approx U_{к0}$) период колебаний симметричного мультивибратора определяется по формуле

$$T = t_1 + t_2 \approx 1{,}3\,RC. \tag{23}$$

Приведенные формулы дают хорошее согласование с экспериментом для частот ниже 10 *кгц*. При высоких частотах начинает заметно сказываться расход энергии конденсатора на рассасывание неосновных носителей в базе закрывающегося триода.

Форма генерируемых колебаний показана на рис. 10,*б*. Искажение формы импульсов (при переходе триода из открытого в закрытое состояние) происходит за счет заряда конденсатора связи. Для улучшения формы импульсов

следует уменьшать сопротивление $R_к$ и выбирать триоды с большим коэффициентом усиления β. Переходный же процесс при переходе триода из закрытого состояния в открытое протекает быстро и в основном определяется частотными свойствами триодов.

Одним из достоинств мультивибратора, работающего с насыщением триодов, является устойчивость частоты при изменении напряжения питания.

К недостаткам относится частотная нестабильность при изменении температуры, объясняющаяся изменением обратного сопротивления между эмиттером и базой триода, что

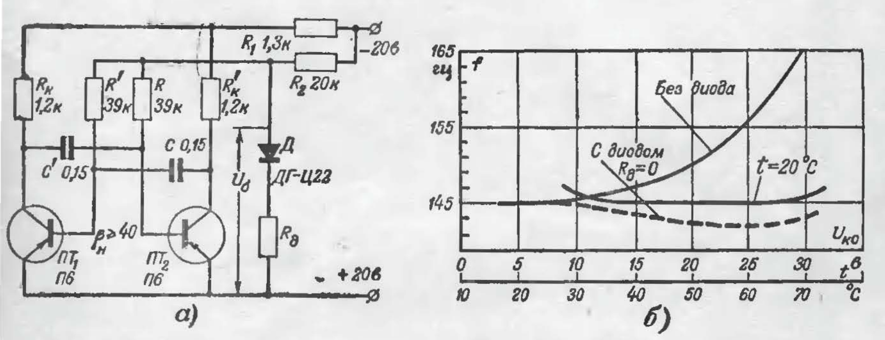


Рис. 11. Схема мультивибратора, стабилизированного по частоте (*а*), и график, показывающий изменение частоты от напряжения и температуры при $U_{к0} = 20$ *в* (*б*).

вызывает изменение постоянной времени разряда конденсатора *С*. Этот недостаток легко устраняется при включении в схему стабилизирующего германиевого плоскостного диода (рис. 11,*а*), у которого с ростом температуры уменьшается обратное сопротивление и, следовательно, понижается напряжение $U_б$, подаваемое на базы триодов, компенсируя тем самым уход частоты (на графике рис. 11,*б* пунктиром показан случай перекомпенсации).

Еще лучшая стабильность частоты получается при включении в схему рис. 11 шунтирующих сопротивлений порядка 50—100 *ком* между базой и эмиттером триодов.

Максимальная частота, которую способен генерировать мультивибратор на триодах П1Е и П1Ж при напряжении источника питания 3—4,5 *в*, составляет примерно 60 *кгц*, а при напряжениях 10—15 *в* — около 150—250 *кгц*.

Мультивибратор хорошо синхронизируется внешним напряжением переменного тока.

ТРИГГЕР С ОДНИМ УСТОЙЧИВЫМ СОСТОЯНИЕМ

Если в мультивибраторе одну из емкостных связей заменить реостатной, то получится триггер (рис. 12,*а*) с одним устойчивым состоянием (реактивный триггер). В устойчивом состоянии триод $ПТ_2$, база которого соединена через сопротивление R непосредственно с минусом источника питания, открыт, а триод $ПТ_1$ закрыт. В момент прихода отрицательного импульса на базу триода $ПТ_1$ или положительного на базу $ПТ_2$ триггер переходит в неустойчивое состояние.

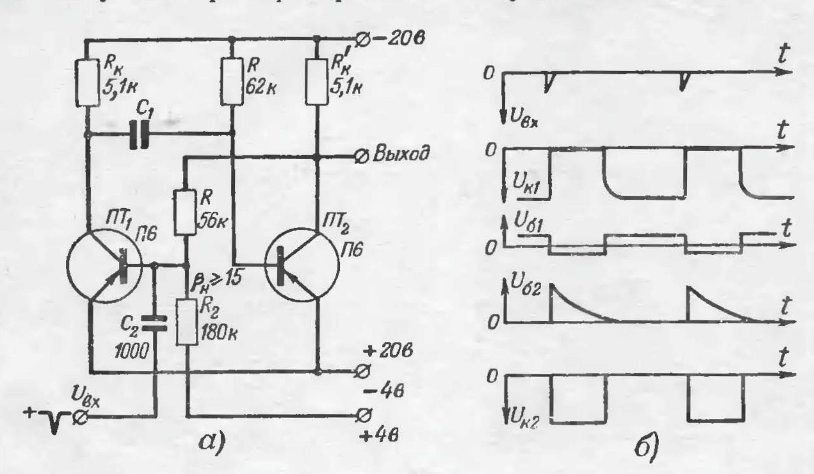


Рис. 12. Схема реактивного триггера (*а*) и форма импульсов на электродах триодов (*б*).

При этом триод $ПТ_1$ начинает проводить ток, и изменение напряжения на его коллекторе передается через конденсатор C_1 на базу триода $ПТ_2$. Нарастающий лавинообразный процесс, возникающий за счет обратной связи, приводит к полному закрытию триода $ПТ_2$ и полному открытию триода $ПТ_1$. В таком состоянии триггер будет находиться до тех пор, пока конденсатор C_1 не разрядится через коллектор открытого триода $ПТ_1$, сопротивление R и входное сопротивление триода $ПТ_2$.

Как только конденсатор C_1 разрядится, на базе триода $ПТ_2$ установится отрицательное напряжение; тогда этот триод откроется и, в свою очередь закроет триод $ПТ_1$.

Таким образом, на выходе триггера создаются импульсы с крутыми фронтами: на коллекторе триода $ПТ_2$ — отрицательные, а на коллекторе триода $ПТ_1$ — положительные.

Поскольку реактивный триггер является комбинацией двух схем (обычного триггера и мультивибратора), то соответственно каждая часть схемы рассчитывается по приведенным выше формулам.

Форма импульсов на коллекторах и эмиттерах триодов показана на рис. 12,*б*. Минимальная длительность запускаю-

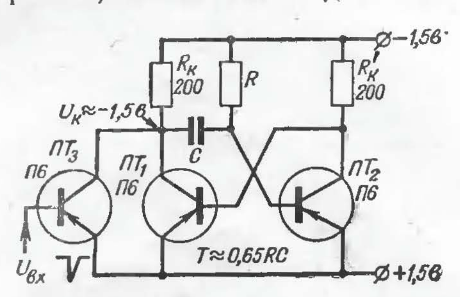


Рис. 13. Схема реактивного триггера с непосредственной связью.

щих импульсов для триггеров на триодах П1Е и П1Ж составляет 1—2 *мксек*.

В реактивном триггере также может быть применена непосредственная связь (рис. 13).

КОЛЬЦЕВАЯ ПЕРЕСЧЕТНАЯ СХЕМА

Применения кольцевых пересчетных схем (схем с несколькими устойчивыми состояниями) весьма разнообразны. Фактически эти схемы являются электронными распределителями импульсов, применяемыми вместо широко известных электромеханических распределителей, например щеточного типа телеграфных аппаратов Бодо.

Для понимания принципа построения кольцевых схем рассмотрим простейшую блок-схему (рис. 14,*а*), состоящую из двух триггеров T_1 и T_2 и управляющих ключей „$И_1$“, „$И_2$“, „$И_3$“ и „$И_4$“ (диодные схемы двух совпадений), которые по принципу выполнения логических операций подобны описанным на стр. 20. В данной схеме совпадение происходит тогда, когда на один вход от источника управляющих импульсов поступит сигнал положительной полярности, а на другой — отрицательной полярности от триггера.

Управление переключением триггеров осуществляется от двух источников, импульсы которых сдвинуты относительно

друг друга на 180°, например от мультивибратора или триггера, работающего в режиме деления (см. стр. 18).

Работа схемы осуществляется следующим образом. Предположим, что ключ K разомкнут. Триггеры T_1 и T_2 находятся в исходном состоянии — правые триоды (заштрихованные)

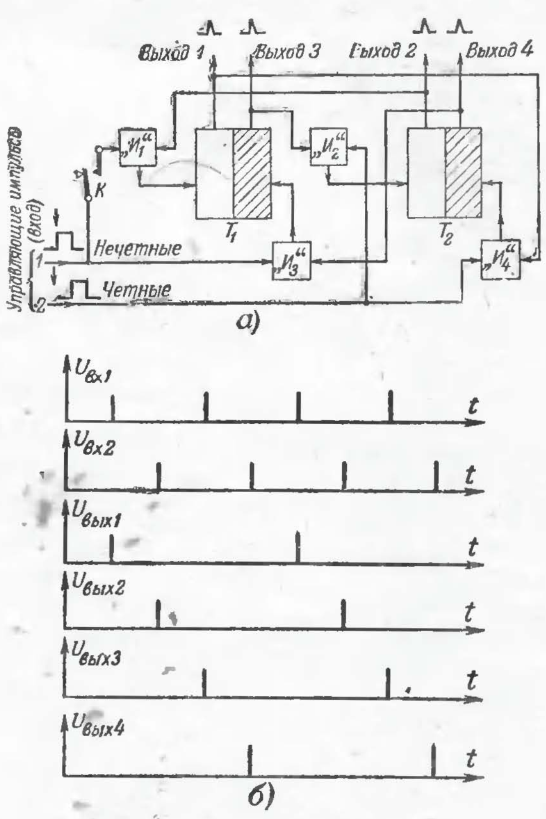


Рис. 14. Блок-схема кольцевой пересчетной схемы (*а*) и распределение во времени входных и выходных импульсов (*б*).

открыты, а левые закрыты. Управление переключением триггеров осуществляется импульсами положительной полярности, подаваемыми на базы открытых или на коллекторы закрытых триодов. В исходном состоянии под отрицательным напряжением будут находиться выход *1* и выход *2* и, следовательно, подготовленными к открытию—ключи «$И_1$» и «$И_4$».

При замыкании ключа K нечетные управляющие импульсы открывают ключ «$И_1$». Возникающий на его выходе положительный импульс переключает триггер T_1. Этот триггер, сработав, подготавливает к открытию ключ «$И_2$», который при поступлении четного управляющего импульса открывается и переключает триггер T_2. С приходом второго нечетного импульса триггер возвращается в исходное состояние триггер T_1, а с приходом второго четного — триггер T_2.

Если ключ K оставить замкнутым, то циклы работы

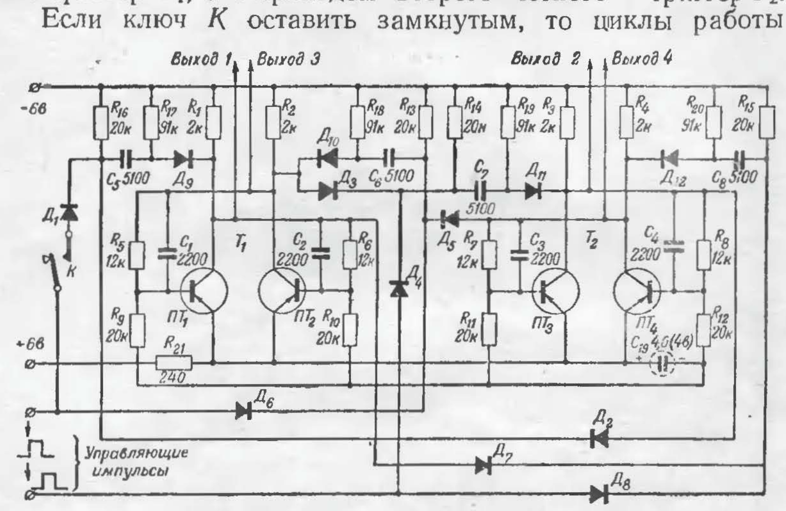


Рис. 15. Принципиальная схема кольцевой пересчетной схемы. Диоды типа Д1А, триоды типа П1А, $\beta_н \geqslant 9$.

кольцевой схемы будут продолжаться непрерывно. График временных соотношений управляющих и выходных импульсов приведен на рис. 14,*б*.

Принципиальная кольцевая пересчетная схема изображена на рис. 15. Рассмотрим работу одного из ключей, например «$И_1$», который состоит из диодов $Д_1$, $Д_2$ и сопротивления R_{16}.

В исходном состоянии диод $Д_2$ закрыт отрицательным напряжением, поступающим с коллектора триода $ПТ_3$. Если замкнуть ключ K, то тогда в момент поступления управляющего импульса диод $Д_1$ откроется и уменьшится отрицательное напряжение на левой обкладке конденсатора C_5. На выходе дифференцирующей цепочки (R_{17}, C_5) появится положительный импульс, который, проходя через диод $Д_9$, переключит первый триггер. Если к моменту прихода управ-

ляющего импульса диод $Д_2$ будет открытым, то при поступлении управляющего импульса изменение напряжения на сопротивлении R_{16} не произойдет и состояние триггера T_1 не изменится. Далее схема работает аналогично рассмотренному.

ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИХСЯ УСТРОЙСТВ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ В РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКЕ

Переключающиеся устройства на полупроводниковых приборах в радиолюбительской практике могут найти широкое применение. Например, с помощью таких устройств возможно осуществлять автоматизацию работы на телеграфном ключе (манипуляторе), управлять по радио движущимися моделями и т. д.

В качестве примера рассмотрим схему автоматизированного манипулятора кода Морзе, принципы построения которого могут быть использованы для конструирования и других практических схем.

Блок-схема автоматизированного манипулятора изображена на рис. 16,*а*. Она состоит из: 1) генератора синхронизирующих импульсов *ГИ*; 2) датчика интервалов *ДИ*, калибрующего интервалы между знаками на длину, равную трем точкам, и между словами на длину, равную пяти точкам; 3) стартстопных датчиков точек *ДТЧК*, вырабатывающих точки, и *ДТ*, вырабатывающих тире, равные трем точкам (датчик точек управляется двумя ключами: $«И»_{тчк1}$ — при одиночных точках и $«И»_{тчк2}$ — при посылке серии точек; датчик тире управляется ключом $«И»_{т}$); 4) устройства «памяти» точек *ПТЧК*, устраняющего срывы точек при преждевременном переводе манипулятора с «Тире» на «Точки» и обратно в момент, когда еще не было окончено тире; 5) собирательного устройства «ИЛИ», подключающего датчики тире или точек к выходному электронному реле *ЭР*, с выхода которого снимаются двухполюсные посылки постоянного тока и напряжение для управления тональным генератором; 6) тонального генератора *ТГ* (мультивибратора), модулирующего посылки постоянного тока.

Взаимодействие перечисленных элементов происходит следующим образом.

Допустим, что в какой-то момент времени манипулятор *М* из нейтрального положения переведен в положение «Тире». Поступающее с манипулятора положительное напряжение открывает ключ $„И“_{т}$ и тем самым подключает датчик ин-

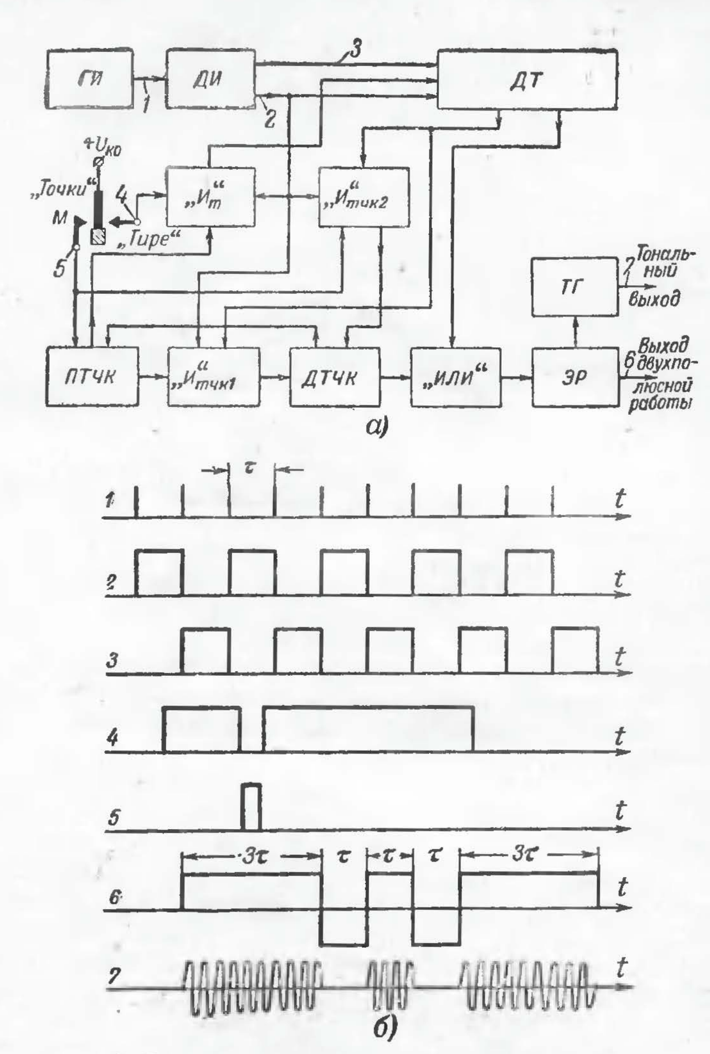


Рис. 16. Блок-схема автоматизированного манипулятора кода Морзе (*а*) и временные соотношения импульсов в основных узлах схемы (*б*).

тервалов *ДИ* (триггер, работающий в режиме деления частоты в 2 раза) к первому каскаду стартстопного датчика тире *ДТ*. В момент появления нечетного импульса на выходе датчика интервалов (нижний провод) через схему „*И*"$_т$ запускается датчик тире. После этого манипулятор может

быть переведен в нейтральное положение, так как дальше датчик тире продолжает работать автоматически от импульсов датчика интервалов до тех пор, пока не поступит в датчик тире четыре импульса. После четвертого импульса датчик тире прекращает работу. Если же манипулятор не будет переведен в нейтральное положение, то датчик тире будет работать непрерывно.

При работе датчика тире последний выключает ключи точек („И“$_{тчк1}$ и „И“$_{тчк2}$) и тем самым предотвращает возможные срывы тире при преждевременном переводе манипулятора на „Точки“.

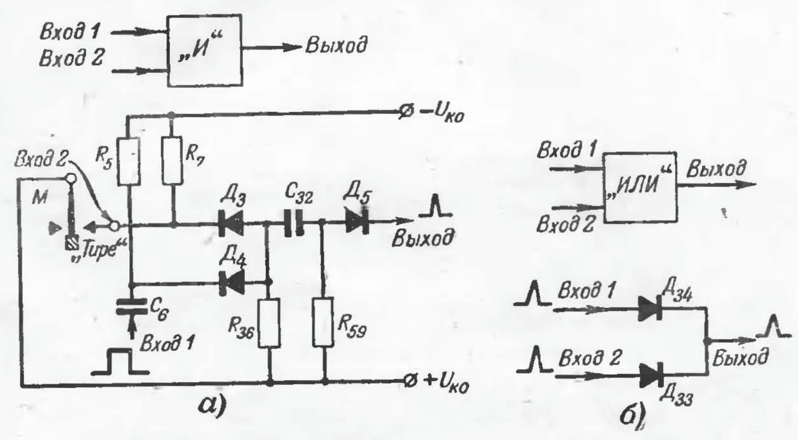


Рис. 17. Логические цепочки на диодах „И“ (*а*) и „ИЛИ“ (*б*).

Аналогичным образом происходит формирование точек при переводе манипулятора в положение «Точки». Временные соотношения импульсов, получаемых в схеме, показаны на рис. 16,*б*.

В качестве ключей использованы схемы нескольких совпадений «И» на диодах. Схема одного из ключей приведена на рис. 17,*а*, в которой при нейтральном положении манипулятора по сопротивлению R_{36} от двух параллельных цепей $R_5Д_4$ и $R_7Д_3$ протекает ток. При переводе манипулятора в положение «Тире» одно из питающих сопротивлений R_7 замыкается ножом манипулятора на $+U_{к0}$. В момент поступления на вход *1* схемы положительного импульса от датчика интервалов запирается диод $Д_4$. Поэтому на выходе схемы после дифференцирующего контура $C_{32}R_{59}$ появится

короткий положительный импульс, необходимый для управления соответствующей схемой.

Собирательная схема «ИЛИ» (рис. 17,*б*) состоит из диодов $Д_{33}$ и $Д_{34}$, исключающих влияние одного входа на другой.

Схема стартстопного датчика тире представляет собой кольцевую пересчетную схему, имеющую четыре устойчивых состояния (см. стр. 28).

Полная схема автоматизированного манипулятора приведена на рис. 18.

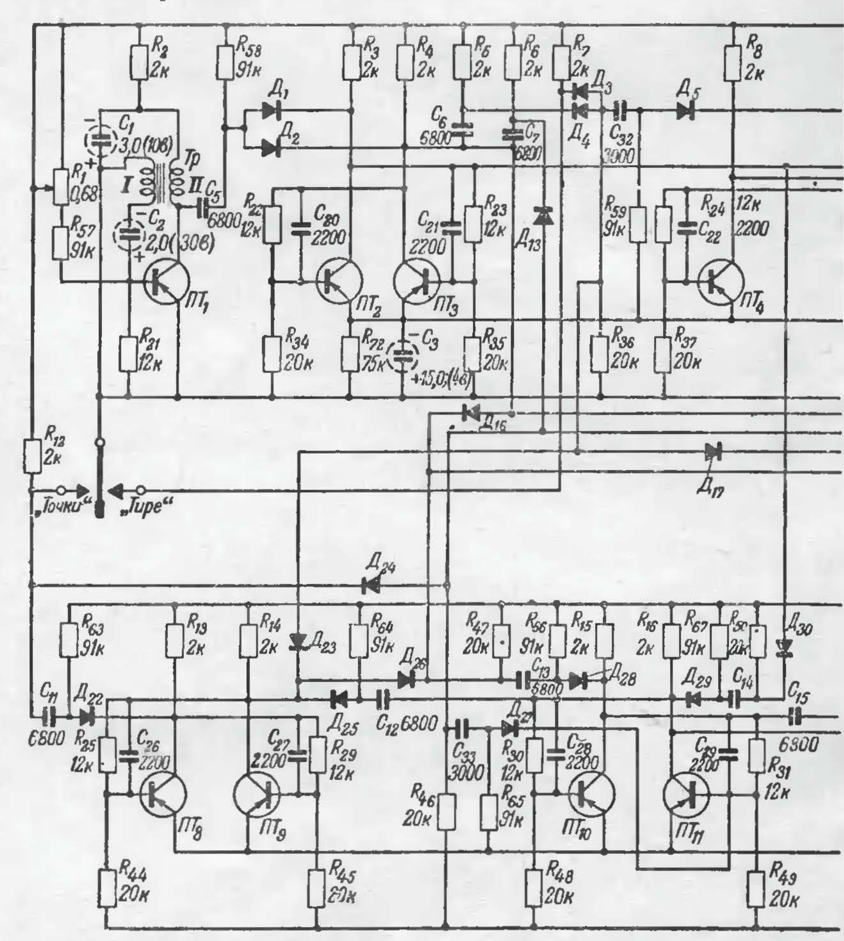
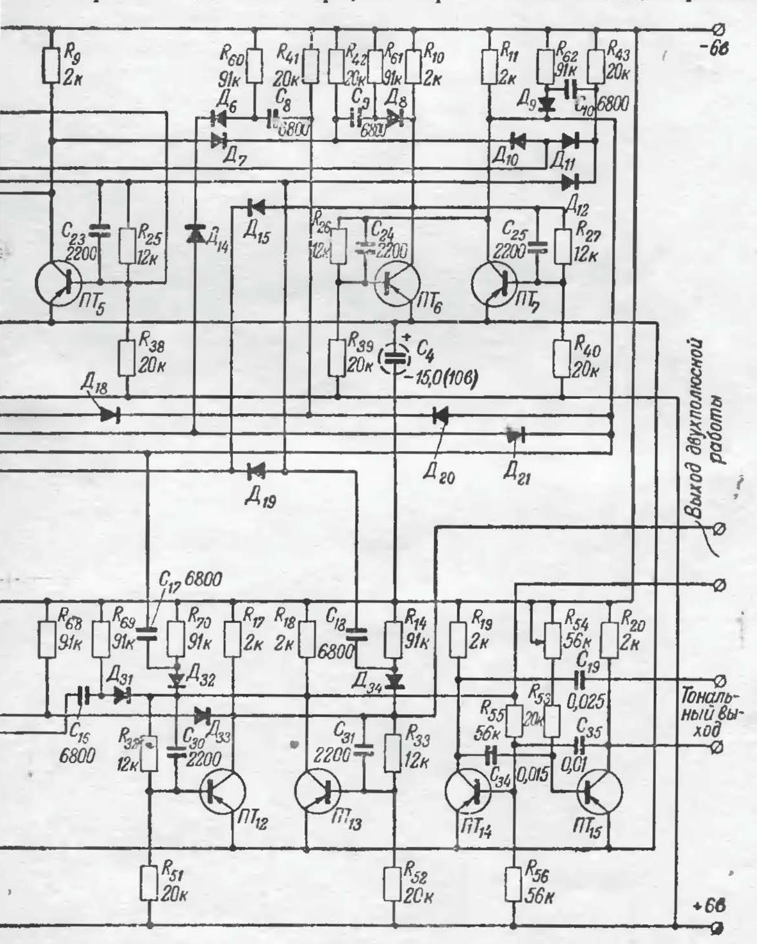


Рис. 18. Принципиальная схема автоматизирован

Триод $ПТ_1$ — генератор импульсов; $ПТ_2$ и $ПТ_3$ — датчик интервалов; $ПТ_4$ — $ПТ_7$ — $ПТ_{13}$ — электронное реле; $ПТ_{11}$

Рассмотрим работу стартстопного датчика «Точек» в тот момент, когда посылалось тире — нож манипулятора переведен в положение «Точки» и снова в положение «Тире» (рис. 16,*б*).

При переводе манипулятора в положение «Точки» на дифференцирующем контуре $C_{11}R_{63}$ возникает положительный импульс. Этот импульс переключает триггер «Памяти» точек, который открывает диод $Д_{23}$, блокирующий от повторной работы датчик тире, и закрывает диод $Д_{26}$ первого клю-



ного манипулятора кода Морзе.

датчик „Тире"; $ПТ_8$ и $ПТ_9$ — „Память" точек; $ПТ_{10}$ и $ПТ_{11}$ — датчик „Точек"; $ПТ_{13}$ и
и $ПТ_{15}$ — тональный генератор.

ча точек. В это время ключи точек заблокированы от датчика тире (через диоды $Д_{14} Д_{21}$ и $Д_{15} Д_{19}$).

Как только окончится цикл работы датчика тире, ключи точек разблокируются и тогда на сопротивление R_{47} первого ключа точек поступит нечетный импульс с датчика интервалов. Этот импульс, проходя через дифференцирующий конденсатор C_{13} и диод $Д_{28}$, переключит триггер датчика точек. При этом триод $ПТ_{10}$ будет открыт, а триод $ПТ_{11}$ — закрыт. Возникающий на триоде $ПТ_{10}$ положительный импульс, проходя через дифференцирующий конденсатор C_{15} и собирательный диод $Д_{33}$, переключит триггер выходного электронного реле (триоды $ПТ_{12}$ и $ПТ_{13}$). На выход двухполюсной работы после тире и паузы, равной одной точке, будет послано начало точки. При поступлении с датчика интервалов четного импульса последний, проходя через диод $Д_{30}$ и дифференцирующий конденсатор C_{14}, переключит в исходное состояние датчик точек, а через конденсатор C_{16} и собирательный диод $Д_{31}$ — выходное электронное реле. В линию снова пойдет пауза.

При возвращении в исходное состояние датчика точек с триода $ПТ_{11}$ поступит положительный импульс на дифференцирующий контур $C_{12}R_{64}$. Триггер «Памяти» точек возвратится в исходное состояние и выключит блокировку с ключа датчика тире, а поскольку нож манипулятора находится в положении «Тире», то с поступлением нечетного импульса опять начнет работать датчик тире. Таким образом, будет послано тире, равное трем точкам, пауза, равная точке, точка и затем пауза, равная точке, и снова тире.

Если нож манипулятора оставить в положении точек, то второе и последующие срабатывания датчика точек будут происходить через второй ключ датчика точек (через сопротивление R_{46} и диоды $Д_{13}Д_{24}$).

Тональный генератор на триодах $ПТ_{14}$ и $ПТ_{15}$ представляет собой заторможенный мультивибратор, работой которого управляет выходное электронное реле. Высота тона регулируется переменным сопротивлением R_{54}.

Скорость работы на манипуляторе определяется задающей частотой блокинг-генератора, частота которого может быть изменена в широких пределах переменным сопротивлением R_1 или изменением емкости C_2.

Трансформатор *Тр* блокинг-генератора состоит из оксиферового кольца ($d_{нар} = 7$ *мм*; $d_{вн} = 4$ *мм*; $\mu = 1\,000$) с двумя обмотками из провода ПЭЛШО 0,08—0,1 *мм* (обмотка *I* содержит 75, а обмотка *II* — 150 витков).

В качестве источника питания могут быть использованы гальванические элементы от карманного фонаря общим напряжением 6 *в*. Мощность, потребляемая устройством, составляет 0,12 *вт*. Колебания напряжения источника питания могут быть ±1,5 *в* при изменении окружающей температуры от 0 до +50° С.

Схема работает вполне устойчиво. С выхода устройства выдаются четкие телеграфные посылки, по характеру аналогичные механической работе с перфорированной ленты. Особенно хорошие результаты устройство дает при использовании его для передачи цифр.

Оператор средней квалификации может освоить работу на устройстве за 10—20 *ч*, а при некоторой тренировке способен передавать цифровой текст со значительно большей скоростью, чем это возможно при ручной работе на обычном телеграфном ключе. Ввиду высокой четкости сигналов прием их значительно облегчен.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕСЯ УСТРОЙСТВА НА МАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

ХАРАКТЕРИСТИКА МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЕТЛЕЙ ГИСТЕРЕЗИСА

Наряду с полупроводниковыми приборами в переключающих устройствах находят широкое применение магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса. Из этих материалов изготавливаются магнитные элементы — торы, имеющие два устойчивых магнитных состояния.

Магнитные торы изготовляются двух видов: ленточные и прессованные — ферритовые.

Ленточные торы обычно состоят из нескольких витков пермаллоевой или перминваровой ленты, основой которой является сплав никеля и железа. Эта лента толщиной в несколько микрон наматывается на керамическую бобину, предохраняющую витки ленты от деформации. Витки ленты между собой свариваются точечной сваркой. После всего этого тор подвергается термообработке в осушенной атмосфере, наполненной водородом, с одновременным воздействием внешнего магнитного поля (магнитный отжиг).

Ферритовые торы, например марганец-магниевые, приготавливаются следующим образом. Материал размельчается в шаровой мельнице в порошок, к которому потом добавляется связующее вещество. Из полученной массы прессуют сердечники торроидальной формы, которые затем термооб-

ра̂батывают в разреженной атмосфере. Внешний вид ферритовых и ленточных торов (крайний правый, где виден только пластмассовый корпус, предохраняющий от деформации виток ленты, намотанной на керамическую бобину) показан на рис. 19.

Получаемые такими способами магнитные материалы отличаются от обычных магнитных материалов тем, что имеют гистерезисную петлю почти прямоугольной формы (рис. 20,*а*), малую величину коэрцитивной силы H_c и, следовательно, большую скорость перехода от намагничивания одного знака к другому. Ленточные сердечники имеют лучшие магнитные характеристики, чем ферритовые, например $B_m \approx 15\,000$ *гс* и $H_m \approx 2$ *эрс*, тогда как для ферритовых $B_m \approx 2\,400$ *гс* и $H_m \approx 4$ *эрс*. Однако последние обладают в десятки раз бо́льшим быстродействием, так как в них почти отсутствуют потери на вихревые токи. К тому же они более просты в изготовлении.

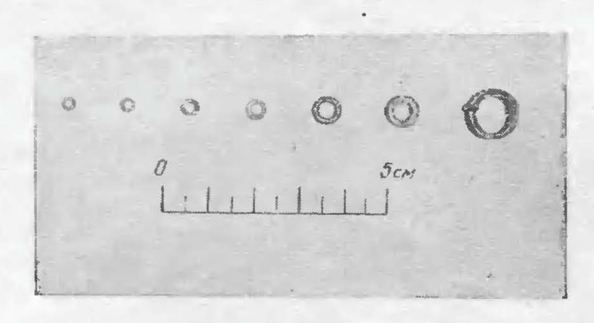


Рис. 19. Внешний вид ленточных и ферритовых торов.

Рассмотрим работу магнитных элементов. Предположим, что за счет пропускания импульса тока I_1 через первую обмотку[1] тора (рис. 20,*б*) он намагничивается до насыщения в одном из направлений, скажем, до $+B_m$ (см. петлю гистерезиса на рис. 20,*а*). Если намагничивающий ток выключить, то намагничивание тора изменится весьма мало — до величины, соответствующей остаточной магнитной индукции B_r. Обозначим это состояние намагничивания „1" двоичного исчисления.

[1] Для простоты начертания принципиальных схем обмотки торов изображаются одним полувитком.

Если же теперь пропустим ток I_3 через третью обмотку, то магнитный поток в торе вначале будет убывать достаточно медленно до тех пор, пока не достигнет верхнего левого колена петли гистерезиса, после чего быстро достигнет нижнего левого колена, а затем медленно дойдет до величины $-B_m$. При выключении тока намагничивание тора, как и раньше, изменяется весьма мало и будет соответство-

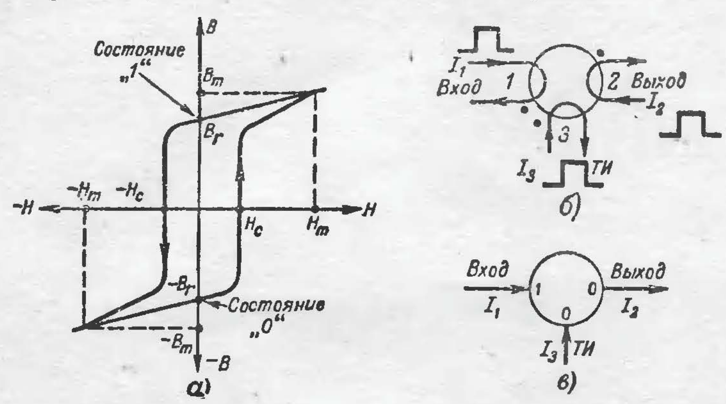


Рис. 20. Двоичный магнитный элемент с сердечником, имеющим прямоугольную форму гистерезисной петли.

а — петля перемагничивания сердечника; *б* — схема включения обмоток (*ТИ* — тактовый импульс); *в* — условное обозначение.

вать значению $-B_r$. Обозначим это состояние «0» двоичного исчисления.

Таким образом, тор подобно спусковой схеме (триггеру) переключается из одного устойчивого состояния в другое, в котором остается и после прекращения действия переключающего импульса.

На рис. 20 и последующих рисунках точкой обозначены начало обмоток. Согласно правилу «буравчика» это значит, что если ток входит в начало обмотки, сердечник намагничивается в отрицательном направлении, если же ток выходит из начала обмотки, сердечник намагничивается в положительном направлении.

Если же производить повторное намагничивание тора в том же самом направлении, что и в последний раз, то из-за значительной магнитной прямоугольности материала изменение магнитного поля в торе, а вместе с этим и индуктируемое напряжение в выходной обмотке 2 будут весьма малыми. Следовательно, путем «опроса» и «проверки» изме-

нения магнитного потока, т. е. по индуктируемым напряжениям можно отличать положения намагничивания. Например, если тор «опрашивается» сигналом, переключающим его в состояние «0», а сам тор находился до этого в состоянии «1», то в результате этого получим большое изменение магнитного потока; если же тор до «опроса» также находился в состоянии «0», то в результате «опрашивания» будет получено весьма малое изменение магнитного потока.

Обычно на блок-схемах применяют упрощенное обозначение магнитных элементов. Одно из таких обозначений показано на рис. 20,*в*, где круг соответствует магнитному тору. Стрелка, направленная внутрь тора, соответствует входу тора или входной цепи управления; стрелка, выходящая из круга, соответствует выходу.

Цифры, указанные внутри круга, относящиеся к входным цепям, соответствуют положению, в которое переключается тор тем или другим входным сигналом. Цифры, относящиеся к выходным цепям, показывают, в какое положение необходимо переключить тор, чтобы получить на выходе управляющий сигнал. Например, если в тор (рис. 20,*в*) током I_1 введена «1», то при поступлении тактового импульса I_3 тор переключится в состояние «0» и на выходе появится управляющий импульс.

Если же тор находится в состоянии «0», то поступающий тактовый импульс также будет приводить тор в состояние «0» — импульс на выходе не появится, так как намагничивание тора не изменится.

Время переключения магнитных элементов или время, необходимое для изменения положения намагничивания, обратно пропорционально разности между намагничивающей силой и коэрцитивной силой $1/(H_m - H_c)$. Это значит, что чем больше намагничивающая сила (H_m) и меньше величина коэрцитивной силы (H_c), тем меньше время переключения.

Прямоугольность гистерезисной петли магнитных материалов оценивается отношением остаточной магнитной индукции B_r к максимальной магнитной индукции B_m, при которой происходит магнитное насыщение материала, и обозначается буквой $p = \frac{B_r}{B_m}$. Величина p для большинства торов колеблется от 0,85 до 0,95, а время переключения — от 0,5 до 1 *мксек* для ферритовых и от 6 до 20 *мксек* для ленточных торов.

Одной из особенностей магнитных элементов с прямоугольной петлей гистерезиса является то, что они могут быть применены почти во всех устройствах, работающих с информацией дискретного вида, в которых до этого применялись либо механические, либо электронно-ламповые устройства.

Применение магнитных торов в комбинации с полупроводниковыми триодами еще более расширяет область их применения и позволяет создать малогабаритную, быстродействующую, весьма надежную и экономичную аппаратуру. Поэтому представляет интерес рассмотреть некоторые практические схемы, например накопительные (линии задержки) и распределительные, управляющие, отдельно феррит-триодные схемы, а также импульсные источники питания.

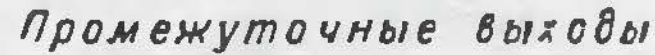
ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ И КОЛЬЦЕВЫЕ КОММУТАТОРЫ

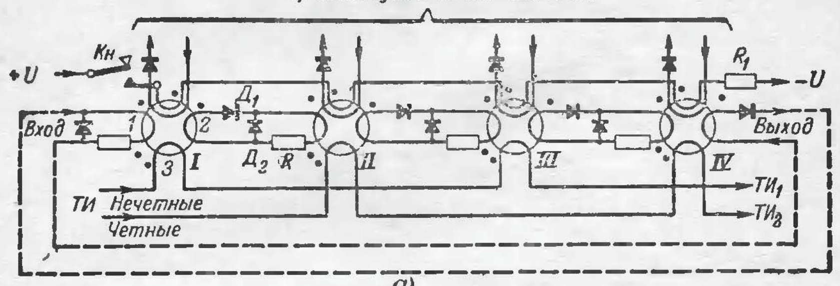
Линии задержки и кольцевые коммутаторы служат: первые для задержки импульсов, поступивших на вход на время, кратное периоду управляющих импульсов; вторые то же, что и кольцевая пересчетная схема, описанная в первой главе.

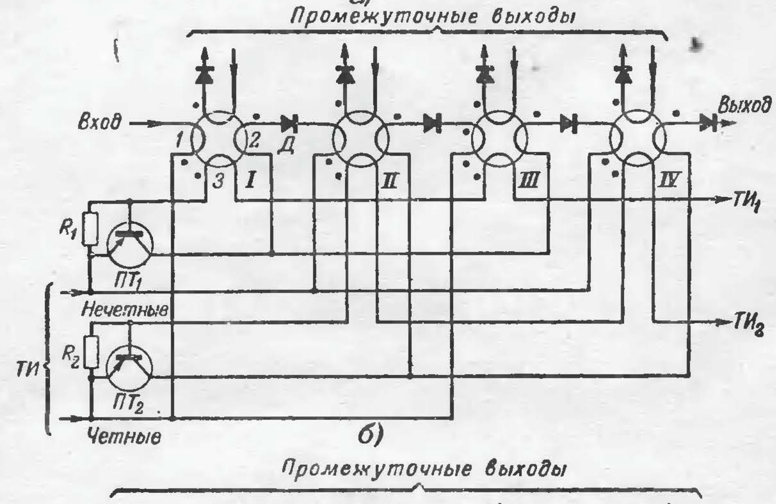
По количеству источников управляющих импульсов они делятся на двухходовые и одноходовые или на двухтактные и однотактные. Для первых необходимо два импульсных источника тока и по два тора на каждую записываемую в линию «1». Следовательно, первые менее экономичны вторых, однако принцип двухходового управления по сравнению с одноходовым является более надежным.

Схема двухходовой линии задержки приведена на рис. 21,*а*. Обмотки *3* соединяются так, что управляющие (их часто еще называют продвигающие или тактовые) импульсы *ТИ* стремятся сообщить всем элементам состояние отрицательного намагничивания, т. е. переводят торы в состояние «0». Обмотки *1* — входная и *2* — выходная соседних торов соединяются между собой через диоды.

Допустим, что в промежуток между тактовыми импульсами во входную обмотку первого тора поступил импульс тока, переключивший этот тор в состояние «1». В это время в выходной обмотке возникает импульс отрицательной полярности, который из-за обратного включенного диода $Д_1$ на второй тор не проходит. Как только в третью обмотку нечетных торов поступит тактовый импульс, первый тор возвратится в состояние «0». Возникающий положительный импульс в обмотке *2*, проходя через диод $Д_1$, переключает







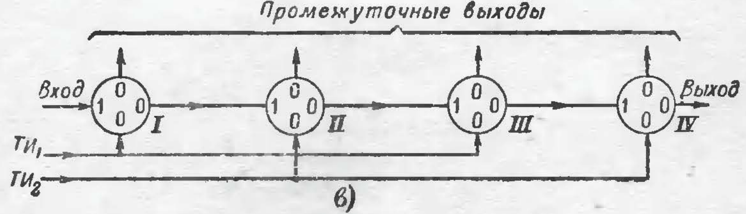


Рис. 21. Двухходовые линии задержки.

а — двухдиодная (*Кн* — кнопка записи „1" в линию); *б* — однодиодная; *в* — условное обозначение двухходовых линий задержек.

второй тор в состояние «1». При поступлении четного тактового импульса второй тор возвратится в исходное состояние и запишет «1» в третьем торе и т. д.

Диод $Д_2$ и сопротивление *R* предотвращают обратное воздействие последующего тора на предыдущий, т. е. исключают действие «обратного потока информации».

Таким образом, импульс, поданный на вход, появится на выходе через время, кратное количеству торов и периоду повторения тактовых импульсов, т. е. задержанный на время $T = \frac{n}{2f}$ где n — число торов; f — частота следования импульсов.

Если выход линии соединить с входом, как показано пунктиром, и с помощью кнопки $K_н$ записать в один из торов „1", то схема будет являться кольцевым коммутатором или распределителем.

Расчет двухходовой линии задержки, основанный на потреблении минимума энергии, подводимой тактовыми импульсами, можно произвести по следующим формулам:

1. Дополнительное сопротивление

$$R = (4 \div 10)\, R_д, \tag{24}$$

где $R_д = R_{д1} = R_{д2}$ — прямое сопротивление диода, измеренное в начале прямолинейного участка вольт-амперной характеристики.

2. Число витков входной обмотки

$$N_1 = \sqrt{\frac{R + R_д}{R_0}}, \tag{25}$$

где R_0 — величина, определяемая уравнением

$$R_0 = \frac{S(B_r + B_m) \cdot 1{,}26 \cdot 10^{-8}}{H_m T_1 l}, \tag{26}$$

где l — средняя длина магнитных силовых линий ($l = 2\pi r_{ср}$; $r_{ср}$ — средний радиус тора, *см*);

S — площадь поперечного сечения кольца тора, *см*^{2};

T_1 — время перемагничивания тора, *сек*, определяемое суммой

$$T_1 = t_{ф1} + t_n, \tag{27}$$

где $t_{ф1}$ — длительность фронта тактовых импульсов, определяемая промежутком времени, в течение которого ток нарастает от 0,1 до 0,9 установившегося значения;

t_n — собственное время перемагничивания тора при заданном значении напряженности магнитного поля (H_m), создаваемого идеальными импульсами тока ($t_{ф1} \simeq 0$), определяемое для ленточных и ферритовых торов по графикам рис. 22.

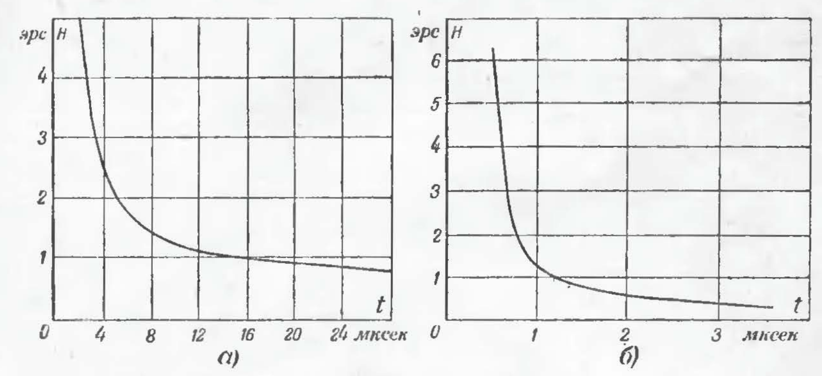


Рис. 22. Зависимость времени перемагничивания торов от напряженности магнитного поля.

а — для ленточных перминваровых, толщиной ленты около 20 *мк*; *б* — для ферритовых, имеющих $B_m = 2\,400$ *гс*, $H_m = 4$ *эрс* и $H_c = 0{,}35$ *эрс*.

3. Число витков выходной обмотки

$$N_2 = 2N_1. \tag{28}$$

4. Ампер-витки тактовой обмотки

$$N_3 I_3 = 4N_1 I_1, \tag{29}$$

где

$$N_1 I_1 = \frac{H_m r_{cp}}{0{,}2}. \tag{30}$$

Пример расчета. Имеем ферритовые торы диаметрами $d_н = 0{,}4$ *см*, $d_{вн} = 0{,}2$ *см*, $h = 0{,}2$ *см*, у которых $H_c = 0{,}35$ *эрс*, $H_m = 4$ *эрс*, $B_m = 2\,400$ *гс* и $B_r = 2\,160$ *гс*. Длительность фронта продвигающих импульсов $t_{ф1} = 2{,}3$ *мксек*. Диоды — купроксные с $d = 6$ *мм* и $R_д = 35$ *ом*, измеренное на уровне 0,5 *в*.

Находим:

1. Площадь поперечного сечения кольца тора

$$S = \frac{d_н - d_{вн}}{2} h = \frac{(0{,}4 - 0{,}2)\,0{,}2}{2} = 0{,}02\ см^2.$$

2. Время переключения ($t_п$) из графика на рис. 22,*б* при $H_m = 4$ *эрс* составит 0,7 *мксек*.

Следовательно, по уравнению (27) время перемагничивания составит:

$$T_1 = 2{,}3 + 0{,}7 = 3\ мксек.$$

3. Средняя длина магнитных силовых линий

$$l = 2\pi r_{cp} = \frac{2 \cdot 3{,}14\,(0{,}4 + 0{,}2)}{4} \approx 1 \text{ см.}$$

4. По уравнению (26) сопротивление

$$R_0 = \frac{0{,}02\,(2\,400 + 2\,160)\,1{,}26 \cdot 10^{-8}}{4 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 0{,}1.$$

5. По уравнению (25) число витков входной обмотки

$$N_1 = \sqrt{\frac{140 + 35}{0{,}1}} \approx 40.$$

6. По уравнению (28) число витков выходной обмотки

$$N_2 = 2N_1 = 2 \cdot 40 = 80.$$

7. По уравнениям (29) и (30) ампер-витки продвигающей обмотки

$$N_3 I_3 = 4\,\frac{H_m\, r_{cp}}{0{,}2} = \frac{4 \cdot 4}{0{,}2} \cdot \frac{(0{,}4 + 0{,}2)}{4} = 12 \text{ ав.}$$

8. По уравнению (24) дополнительное сопротивление

$$R = 4R_{\partial} = 4 \cdot 35 = 140 \text{ ом.}$$

Двухходовая линия задержки с ключевыми триодами. В рассмотренной выше схеме существенным недостатком является то, что недостаточно исключается «обратный поток информации». К тому же в сопротивлении R теряется до 25% энергии тактовых импульсов. В схеме же с ключевыми триодами (рис. 21,*б*) все сопротивления R и диоды, шунтирующие «обратный поток информации», заменены двумя последовательно включенными ключами (полупроводниковыми триодами). Ключевые триоды открываются при поступлении соответственно четного или нечетного тактовых импульсов и тем самым замыкают цепь выходной обмотки соответствующего тора с входной. В остальном схема работает аналогично схеме рис. 21,*а*.

Расчет двухходовой линии задержки с ключевыми триодами производится по следующим формулам:

Число витков входной обмотки

$$N_1 = \sqrt{\frac{R_{\partial}}{R_0}}. \tag{31}$$

Число витков выходной обмотки определяется из уравнения (28).

Ампер-витки продвигающей обмотки

$$N_3 I_3 = 3N_1 I_1. \qquad (32)$$

В отношении выбора прямого сопротивления диодов следует иметь в виду, что чем больше это сопротивление, тем больше будет число витков в обмотках тора, но при этом уменьшается ток в ключевых триодах. Последнее желательно, так как позволяет одним триодам одновременно переключить большее количество торов. Наиболее подходящими

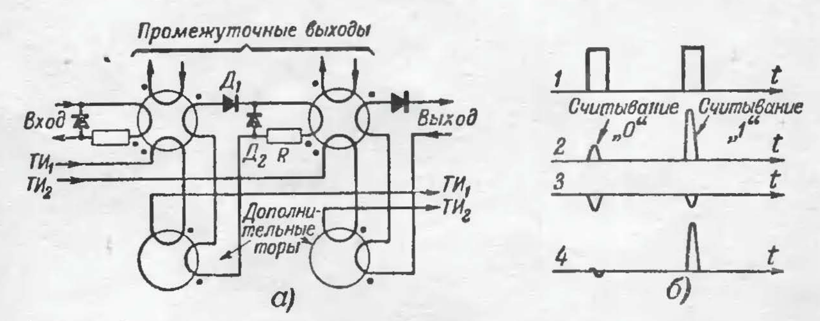


Рис. 23. Схема включения дополнительных торов, компенсирующих помехи (*а*) и временные соотношения напряжений на выходных обмотках при считывании „0" или „1" (*б*).

1 — тактовые импульсы. *2* — импульсы на выходе основного тора; *3* — импульсы на выходе дополнительного тора; *4* — результирующее выходное напряжение.

для этих целей являются диоды, имеющие сопротивление $R_д \approx 100$ *ом*. При применении таких диодов один триод типа П8 допускает переключение более 75 торов.

В кольцевых коммутаторах роль ключевых триодов могут выполнять триоды блокинг-генераторов тактовых импульсов.

При применении торов с коэффициентом прямоугольности меньше 0,82 в каждом торе будут возникать помехи, которые, передаваясь из одной ячейки линии задержки в другие, будут накапливаться, нарушая работу устройства. В этих случаях рекомендуется применять дополнительные торы, которые компенсируют помехи, возникающие в основном торе.

Число витков на дополнительном торе берется то же самое, что и на соответствующих обмотках основного тора.

Схема включения дополнительных торов и временные соотношения напряжений на обмотках тора при считывании «0» и «1» приведены на рис. 23.

Схема одноходовой линии задержки приведена на рис. 24,*а*. В ней информация, поступающая с выхода каждого тора, «прочитывается» конденсатором *С*. В промежутках между тактовыми импульсами конденсатор разряжается (информация «переписывается») через катушку индуктивности *L* и сопротивление *R* на обмотку следующего тора. Роль индуктивности заключается в том, чтобы задержать на некоторое время разряд конденсатора. Форма напряжений и токов в схеме показаны на рис. 24,*б*.

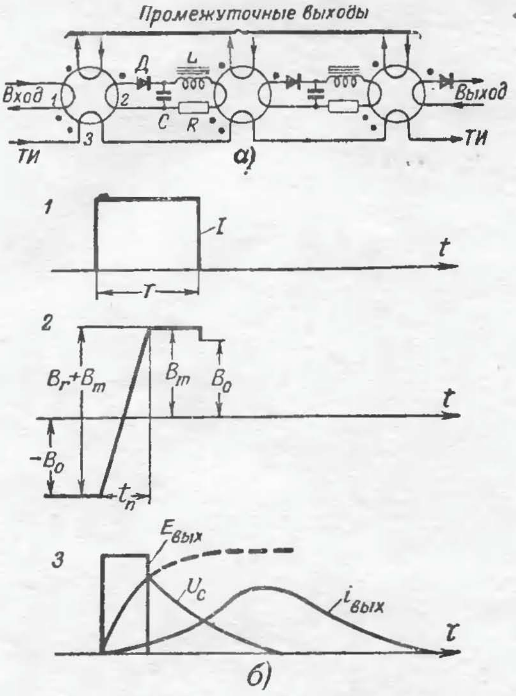


Рис. 24. Одноходовая линия задержки с индуктивностью (*а*) и форма напряжений, токов и магнитного потока (*б*).

1 — форма тактового импульса; *2* — изменение магнитной индукции при перемагничивании тора; *3* — форма э. д. с. в выходной обмотке $E_{вых}$; напряжение U_c на конденсаторе *С* и ток разряда конденсатора $i_{вых}$.

Схема имеет следующие данные: торы ферритовые диаметром 3 *мм*, их электрические параметры приведены в примере расчета. Обмотка *1* содержит 40 витков, обмотки *2* и *3* — по 20 витков. Ток тактового импульса 0,5—0,7 *а*, длительностью не более 7—8 *мксек*, длительность фронта не более

2 *мксек*. Диоды — купроксные, диаметр шайбы 7 *мм* (два параллельно). Емкость $C=0,05$ *мкф*, сопротивление $R=30-50$ *ом*. Индуктивность L — оксиферовое кольцо $d_н=7$ *мм*, $\mu=1\,000$, обмотка 100 витков.

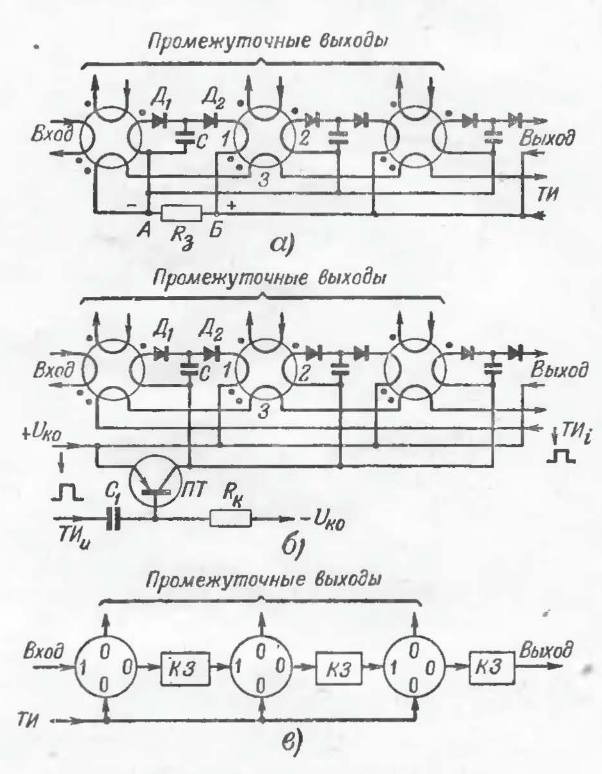


Рис. 25. Одноходовые линии задержки.

а — с запирающим напряжением; *б* — с ключевым триодом; *в* — условное обозначение на блок-схемах (*КЗ* — контур задержки импульсов).

Одноходовая линия задержки с запирающим напряжением. Схема, изображенная на рис. 24, не является единственным вариантом одноходовой линии. На рис. 25,*а* изображена весьма надежная в работе схема, в которой управление разрядом конденсатора осуществляется дополнительным диодом и запирающим напряжением.

Рассмотрим работу этой схемы. Допустим, что в первом торе записана «1». Тактовый импульс, проходя последова-

тельно через все тактовые обмотки торов возвращает в исходное состояние первый тор. В его выходной обмотке возникает напряжение, которое, проходя через диод $Д_1$, заряжает конденсатор C. Цепь разряда конденсатора в момент прохождения тактового импульса разорвана за счет запирания диода $Д_2$ напряжением, создаваемым тактовым импульсом тока на сопротивлении $R_з$ (точки A и $Б$). Как только тактовый импульс окончится, диод $Д_2$ откроется, и информация, записанная на конденсаторе, перепишется во второй тор.

Одноходовая линия задержки с ключевым триодом (рис. 25,*б*). В этой линии полупроводниковый триод *ПТ* плоскостного типа нормально находится в открытом состоянии. При поступлении тактового импульса триод закрывается и разрывает разрядные цепи конденсаторов C. По окончании действия тактового импульса триод *ПТ* снова открывается и соответствующий конденсатор разряжается на входную обмотку тора.

Схема рис. 25,*б* отличается большей экономичностью за счет отсутствия значительных потерь энергии тактовых импульсов в сопротивлении $R_з$.

Отличительной особенностью последних двух схем от схемы на рис. 24 является значительная экономичность расхода энергии от источника тактовых импульсов. Дело в том, что в схеме рис. 24 при заряде конденсатора C от напряжения, получаемого при перемагничивании, происходит одновременный его разряд на входную обмотку следующего тора. Кроме того, за счет слабо выраженного максимума при разряде конденсатора не вся энергия используется на перемагничивание второго тора. Переключающее действие в торе начинается с момента, когда создаваемое разрядным током конденсатора поле достигнет величины, равной H_c. В схеме на рис. 25 этих явлений не происходит, так как во время заряда конденсатора цепь разряда выключена. При включении разрядной цепи разрядный ток устанавливается немедленно. По этим же причинам последние две схемы практически нечувствительны к колебаниям длительности и частоты тактовых импульсов, так как разряд конденсатора происходит после окончания тактового импульса.

Расчет одноходовой линии задержки с запирающим напряжением или с ключевым триодом можно произвести по следующим формулам:

Число витков входной обмотки определяется из уравнения (31)

Число витков выходной обмотки

$$N_2 = 1{,}5N_1. \qquad (33)$$

Ампер-витки тактовой обмотки

$$I_3N_3 = 3{,}5N_1I_1 = 3{,}5\frac{H_m r_{cp}}{0{,}2}. \qquad (34)$$

Емкость конденсатора

$$C = \frac{T_2}{4R_\partial}, \qquad (35)$$

где T_2 — время перемагничивания тора при разряде конденсатора

$$T_2 = t_{\phi 2} + t_n, \qquad (36)$$

где $t_{\phi 2}$ — длительность спада продвигающих импульсов (при расчете можно считать $T_2 \approx T_1$).

Запирающее напряжение

$$U_з = R_з I_з \geqslant U_c = \frac{20R_\partial H_m r_{cp}}{N_1}, \qquad (37)$$

где $R_з$ — сопротивление, на котором создается запирающее напряжение, или сопротивление открытого триода.

Величина запирающего сопротивления

$$R_з \leqslant \frac{R_\partial}{5n}, \qquad (38)$$

где n — число одновременно переключаемых торов в линии задержки.

Практически одним триодом типа П8 при применении диодов с прямым сопротивлением $R_\partial \approx 35$ *ом* можно одновременно переключать более 30 торов.

Схемы рис. 21, 24 и 25 могут быть использованы не только в качестве линий задержек и кольцевых коммутаторов, но и в ряде других случаев, например:

1) в качестве счетчика импульсов, если на какой-либо из торов наложить дополнительную обмотку и включить в нее соответствующее счетное устройство (это устройство будет срабатывать каждый раз на определенном по счету импульсе);

2) в качестве делителя частоты (в этом случае схема практически мало отличается от схемы кольцевого распределителя);

3) в качестве накопителей информации малой емкости;

4) в качестве управляющих и коммутирующих схем и в ряде других случаев.

УПРАВЛЯЮЩИЕ И КОММУТИРУЮЩИЕ СХЕМЫ

К управляющим и коммутирующим схемам относятся всевозможные ключевые схемы «Запрет», «И», «ИЛИ», «НЕТ», триггерные и др. Рассмотрим некоторые из них, использующие в основном элементы одноходовой линии задержки.

Схемы «ЗАПРЕТ» являются наиболее распространенными магнитными переключателями. Они могут быть основаны на компенсации магнитного потока тора или на компенсации выходного напряжения при помощи дополнительного тора.

Рассмотрим работу схемы, основанную на первом принципе (рис. 26,*а*). Допустим, что тор входным сигналом I_1 переключен в состояние «1». Тогда при поступлении тактового импульса I_3 тор переключится в состояние «0», и на выходной обмотке появится сигнал I_2. Если надо не допустить прохождение входного сигнала на выход схемы, то одновременно с входным сигналом на специальный вход подается запрещающий сигнал I_1'. Магнитный поток от запрещающего сигнала имеет направление, противоположное направлению магнитного потока, создаваемого входным сигналом. В результате тор от входного сигнала не переключается и, следовательно, на выходе управляющий сигнал отсутствует.

В схеме «ЗАПРЕТ», основанной на компенсации выходного напряжения (рис. 26,*в*), при подаче входного сигнала переключается только основной тор *А*. При одновременном поступлении входного и запрещающего сигналов переключаются основной и дополнительный торы. Возникающие в выходных обмотках напряжения компенсируют друг друга. Запрещающие обмотки на блок-схемах (рис. 26,*б* и *г*) обычно обозначаются стрелкой с двумя перьями.

Схема рис. 26,*в*, как и все схемы с компенсирующими торами, более надежная в работе, чем схема рис. 26,*а*.

Схема совпадения, реализующая логическую операцию «И», приведена на рис. 27. В исходном состоянии все торы тактовыми импульсами переключены в состояние «0». Допустим, что в промежуток между тактовыми импульсами информация поступила только на вход *I*. В торе *А* и *В* запишется «1». После поступления тактового импульса на тор *Б* поступит как пусковой (с тора *В*), так и запрещаю-

щий (с тора *А*) сигналы. Сигнал на выходе не появится; то же и при поступлении сигнала, только на вход 2. Если же одновременно поступят сигналы на оба входа, тогда тор *А* остается в состоянии «0», а тор *В* переключится в состояние

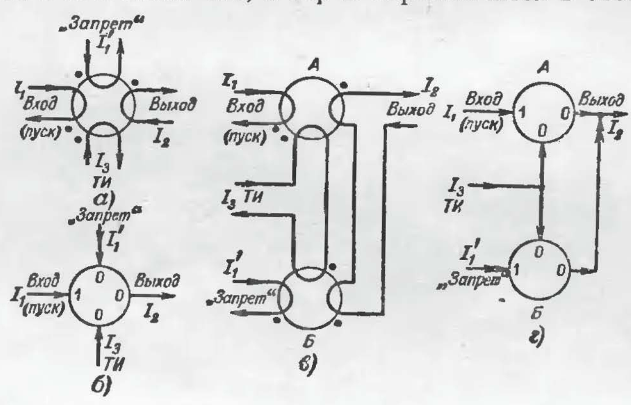
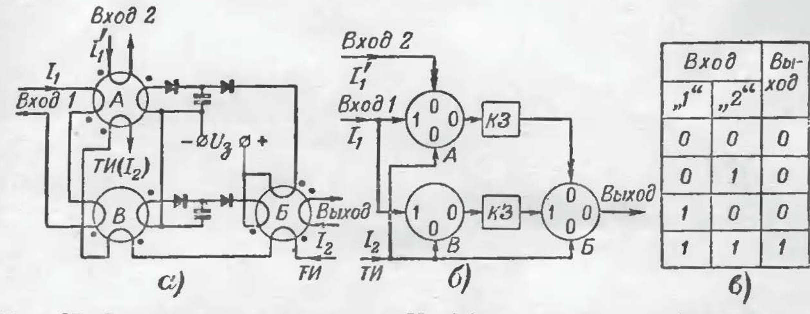


Рис. 26. Схемы „Запрет".

а — схема, основанная на компенсации магнитного потока; *б* — условное обозначение схемы; *в* — схема, основанная на компенсации выходного напряжения; *г* — условное обозначение схемы.



Вход		Выход
„1"	„2"	
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

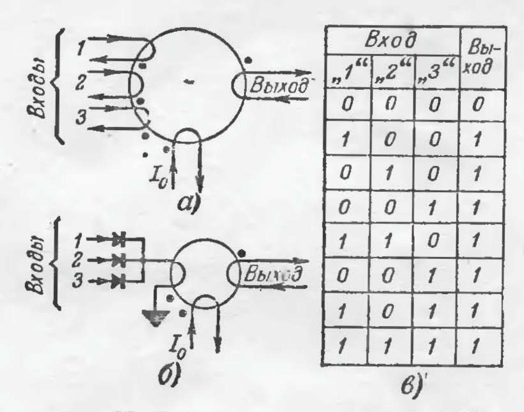
Рис. 27. Схема магнитного ключа „И" (*а*), ее условное обозначение (*б*) и таблица, поясняющая работу ключа (*в*).

«1». При поступлении тактового импульса тор *В* приходит в исходное состояние и по окончании тактового импульса переключает тор *Б*, который в следующий такт выдаст импульс на выход схемы.

Собирательная схема. Схема, реализующая логическую операцию «ИЛИ», образуется добавлением входных обмоток к тору (рис. 28,*а*) или путем параллельного подсоединения входов к одной обмотке через диоды (рис. 28,*б*), исключающие взаимное влияние между входами.

Работает схема следующим образом. Допустим, что на один из входов или на несколько входов одновременно поступила информация. Тогда в торе записывается «1» (исходным состоянием является «0»). При поступлении «опросного» импульса тока тор возвращается в исходное состояние. При этом на выходе схемы появится напряжение положительной полярности.

Схема несовпадения, реализующая логическую операцию «НЕТ», дает на выходе напряжение тогда, когда только на



Вход			Выход
„1"	„2"	„3"	
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	1
0	0	1	1
1	1	0	1
0	0	1	1
1	0	1	1
1	1	1	1

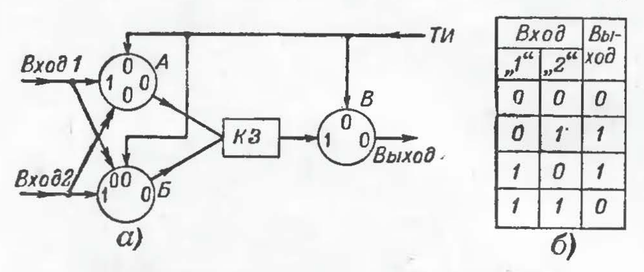
Рис. 28. Собирательная схема „ИЛИ".
а — с разделенными входными обмотками; *б* — с разделением входов посредством диодов; *в* — таблица, поясняющая работу схемы.

один из входов подан управляющий импульс тока. Эту логическую операцию часто называют «ИЛИ» — «НЕТ».

Схема двух несовпадений, построенная на элементах одноходовой линии, приведена на рис. 29. Допустим, что информация поступила на вход *1*, тогда в торе *А* запишется «1», а в торе *Б* — «0». При поступлении тактового импульса тор *А* придет в исходное состояние и выдаст сигнал для записи в тор *В*, который является входным тором следующей схемы. Если же сигналы поступят по обоим входам *1* и *2*, тогда в каждый входной тор *А* и *Б* поступят как основной, так и запрещающий сигналы. Состояние торов не изменяется. Сигнал на выходе будет отсутствовать. Таким образом, выполняется логическая операция «НЕТ».

Схема получения обратного кода. Предположим, что с выхода линии задержки снимается последовательность импульсов, соответствующая двоичному числу 1001 («1»— на-

личие выходного сигнала, «0» — отсутствие сигнала). От этого кода, называемого прямым, должен переключаться триггер *Т*. От «1» триггер сработает, а от «0» не сработает. Поэтому, чтобы переключение происходило как от «1» (в одно устойчивое состояние), так и от «0» (в другое устойчивое состояние) необходимо на один из входов триггера



Вход „1"	Вход „2"	Выход
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Рис. 29. Схема несовпадения „НЕТ" (*а*) и таблица, поясняющая работу схемы (*б*).

подать прямой код, а на другой обратный. Для приведенного числа обратным кодом явится число 0110.

Схема получения обратного кода изображена на рис. 30. Тор *А* — входной, являющийся выходным тором какого-либо

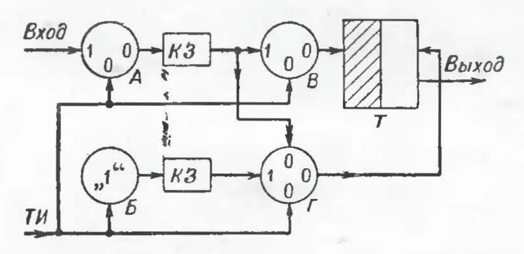


Рис. 30. Схема получения обратного кода.

устройства. Тор *Б* — датчик «1», служит для непрерывного получения из тактовых импульсов коротких импульсов (как и импульсы, получаемые на выходе входного тора). Тор *В* — выходной, прямого кода; тор *Г* — выходной, обратного кода.

Непрерывное получение «1» с датчика *Б* осуществляется за счет того, что тор через специальную, так называемую подмагничивающую обмотку намагничен постоянным током в состояние «1». Поэтому при поступлении каждого тактового импульса тор перемагничивается в состояние «0» и выдает считываемую «1».

Датчик «1» на блок-схемах обозначается кружочком с «1» в центре. Подмагничивающая обмотка не рисуется, так как датчик «1» при применении торов с обычной петлей гистерезиса, например оксиферовых, могут быть и без подмагничивающей обмотки.

Рассмотрим работу схемы. Допустим, что входной сигнал отсутствует, тор *А* находится в состоянии «0». Следовательно, при прохождении тактового импульса напряжения в выходных обмотках тора *А* и *В* равны нулю. С датчика «1» (тор *Б*) при каждом прохождении тактового импульса выдается импульс для переключения тора *Г* в состояние «1». Напряжение, возникающее на выходе тора *Г* (обратный код), воздействует на правую сторону триггера.

При поступлении входного сигнала происходит переключение тора *А*. Возникающее на его выходе от тактового импульса напряжение посылает в тор *Г* запрещающий сигнал и в то же время записывает «1» в тор *В*. Переключение тора *Г* от датчика «1» не происходит. Импульс напряжения, появляющийся на выходе тора *В* (прямой код), поступает на левую сторону триггера.

Триггерные схемы могут быть построены как на элементах двухходовой, так и одноходовой линии задержки. Например, триггерную схему можно образовать из схемы на рис. 21, если замкнуть обратной связью не четыре, а только два тора.

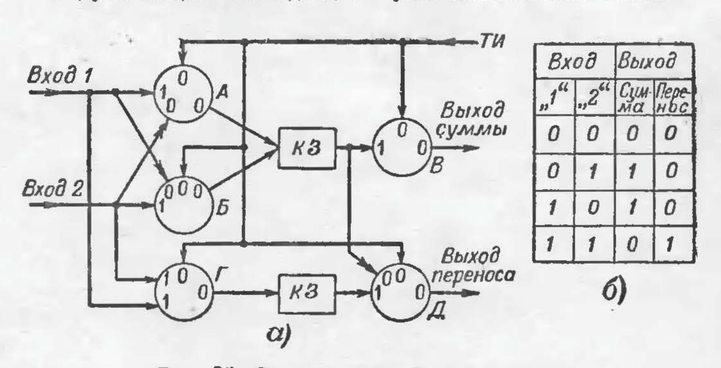
Особый интерес представляют триггеры, построенные на основе элементов одноходовой линии. Эта схема позволяет получить «замкнутое кольцо» всего на одном торе (рис. 31,*а*). Управление триггером осуществляется посредством «разрешающей» (входной) и «запрещающей» обмоток.

Схему триггера с двумя входами и выходами можно получить, если объединить вместе две кольцевые схемы. Схема такого триггера, приведенная на рис. 31,*в*, работает следующим образом. При поступлении управляющего сигнала на вход *1* импульсы будут появляться непрерывно только на выходе *1*. При подаче сигнала на вход *2* импульсы с выхода *1* переключатся на выход *2*.

Следует заметить, что если в спусковых схемах на лампах или на полупроводниковых триодах уровни напряжения и тока от момента одного переключения до момента другого остаются неизмененными и могут быть легко распознаны статически, то в магнитных триггерах выходные уровни имеют импульсный характер. Поэтому спусковые устройства и все

Рис. 31. Схемы динамических триггеров.

а — с одним входом и выходом; *б* — условное обозначение схемы; *в* — с двумя входами и выходами; *г* — условное обозначение схемы.



Вход		Выход	
„1“	„2“	Сумма	Перенос
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Рис. 32. Одноразрядный сумматор.

а — блок-схема; *б* — таблица, поясняющая работу схемы.

другие схемы на магнитных элементах с прямоугольной петлей гистерезиса являются динамическими.

Одноразрядный сумматор, предназначенный для суммирования чисел в двоичном выражении, приведен на рис. 32. Он состоит из схемы «НЕТ», образованной торами *А*, *Б* и *В*,

и схемы «И», образованной торами *Г* и *Д*. Сложение чисел осуществляется за три периода тактовых импульсов.

Схема имеет два входа *1* и *2*, по которым поступают числа (сигналы), подлежащие суммированию, и два выхода, на одном из которых получается «сумма», а на другом — «перенос» в высший разряд. Работа схемы происходит аналогично рассмотренным схемам «И» и «НЕТ».

ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ СО СВЯЗЬЮ ЧЕРЕЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ТРИОДЫ (ФЕРРИТ-ТРИОДНЫЕ СХЕМЫ)

Рассмотренные выше схемы, несмотря на их высокую надежность работы, обладают рядом существенных недостатков. Они требуют большого количества промежуточных элементов — диодов, конденсаторов и сопротивлений, значительную мощность управляющих импульсов. Потребляемая мощность особенно возрастает при продвижении одновременно нескольких «1» в одной линии, и еще больше, когда один тор переключает одновременно несколько других торов. Последнее объясняется тем, что при переключении магнитного элемента в его тактовой обмотке возникает э. д. с. обратной полярности. В результате этого входное сопротивление переключаемого тора увеличивается в десятки раз. Поэтому, если в линии задержки записывается и одновременно продвигается не одна, а несколько «1», величина тактового тока резко уменьшается, и нормальная работа схемы нарушается.

Практически установлено, что при применении в качестве источников тактовых импульсов блокинг-генераторов на кристаллических триодах типа П1 или П6, работающих при коллекторном источнике питания 20—30 *в*, допускается одновременное продвижение по линии задержки, составленной из торов диаметром 4 *мм*, не более пяти-шести «1», что во многих случаях совершенно недостаточно.

Как было показано выше [см. расчет двухходовой линии задержки, уравнение (29)], чтобы тор, переключающийся от тактового импульса, и сам одновременно переключил второй тор, число ампер-витков в тактовой обмотке должно быть в 4 раза больше, чем во входной обмотке, т. е. потребление энергии ведущим тором от источника тактовых импульсов возрастает в 4 раза по сравнению с ведомым тором. Следовательно, чтобы увеличить количество одновременно продвигаемых «1» при данном импульсном источнике питания, необходимо уменьшить нагрузку на ведущие торы. Это можно

сделать за счет включения между торами линий задержки активных (усиливающих) элементов. Наиболее подходящими для этого являются полупроводниковые триоды плоскостного типа.

Существует два способа подключения триодов к магнитным элементам.

Первый способ включения триодов показан на рис. 33,*а*. Здесь основной элемент линии задержки состоит из одного

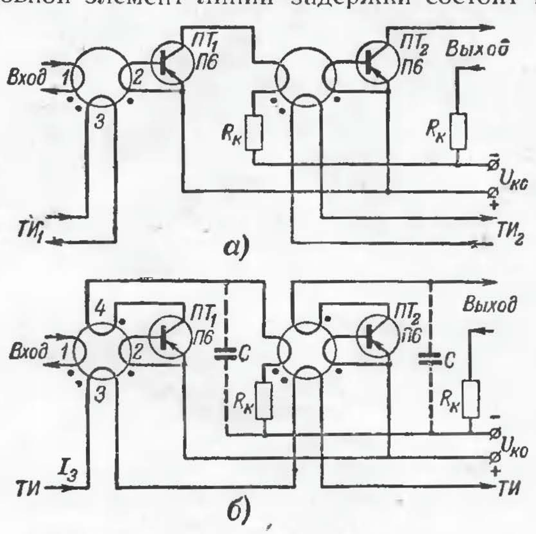


Рис. 33. Схемы линий задержек с полупроводниковыми триодами.

а — с двухходовым управлением; *б* — с одноходовым управлением.

тора и одного плоскостного триода. Тор с триодом связан посредством обмотки.

Предположим, что в первом торе записана «1», а во втором «0». Тактовый импульс, поступающий на обмотку первого тора, изменит его состояние. В то же время быстрое изменение магнитного потока будет генерировать напряжение в обмотке *2*. Это напряжение, подаваемое на триод $ПТ_1$, отрицательно на базе по отношению к эмиттеру. Поэтому триод открывается, в коллекторной цепи протекает значительный ток, определяемый величиной последовательно включенного сопротивления $R_к$, напряжением источника питания и амплитудой импульса в цепи базы. Этот ток проходит через обмотку второго тора, которая включена так,

что изменяет состояние тора от «0» к «1». В результате изменения магнитного потока в обмотке *2* второго тора индуктируется положительный импульс. Этот импульс, поступая на базу следующего триода $ПТ_2$, не вызывает изменения тока $I_к$, который остается почти равным нулю.

Двухходовая линия задержки, собранная по такому принципу, питаемая от блокинг-генератора на триоде П6 (между торами также поставлены триоды типа П6), при $U_{к\,0} = 15—20$ *в* допускала одновременное переключение до 25 четырехмиллиметровых торов каждым источником тактовых импульсов.

Второй способ включения триодов (рис. 33,*б*), за счет введения положительной обратной связи, обладает большей чувствительностью и, следовательно, требует еще меньшей мощности от источника тактовых импульсов.

Из схемы на рис. 33,*б* и кривой намагничивания на рис. 20,*а* очевидно, что для переключения тора, работающего вхолостую, необходимо прикладывать напряженность поля несколько бо́льшую, чем величина коэрцитивной силы тора (H_c), тогда как в предыдущем случае для того, чтобы осуществлялась работа по полному циклу гистерезисной петли намагничивания, необходимо было прикладывать поле величиной H_m, при котором происходило бы полное насыщение сердечника. В схеме же с обратной связью насыщение сердечника осуществляется по цепи обратной связи коллекторным током триода.

Так, например, для ферритовых торов, у которых $H_m = 4$ *эрс*, а $H_c = 0{,}35$ *эрс*, величина ампер-витков в тактовых обмотках схемы с положительной обратной связью может быть уменьшена в $\frac{H_m}{H_c} = \frac{4}{0{,}35} \approx 11$ раз. Таким образом, если предыдущий способ включения триодов между торами при питании от блокинг-генератора на полупроводниковом триоде позволял одновременно продвигать по линии до двадцати пяти „1“, то эта схема позволяет одновременно продвигать почти в 11 раз больше.

Применение полупроводниковых триодов вместо диодов позволяет осуществлять линии задержки с двумя торами на каждую записываемую «1», но с одним источником тактовых импульсов.

Одна из таких схем приведена на рис. 33,*б*. По принципу действия она напоминает работу схемы блокинг-генератора, но отличается тем, что если сердечник тора находится в од-

ном из двух насыщенных состояний, проницаемость магнитного материала низкая, и усиление петли обратной связи меньше единицы. Однако на изгибе кривой (рис. 20,*а*) магнитная проницаемость высокая и усиление петли гораздо больше единицы. Следовательно, по цепи обратной связи возможна регенерация.

Предположим, что в промежутки между тактовыми импульсами на вход поступает информация, записываемая первым тором. Тогда в момент поступления тактового импульса в цепи база — эмиттер триода возникает напряжение, приоткрывающее триод. Вследствие сильной обратной связи между базой и коллектором триода возникает процесс лавинообразного нарастания коллекторного тока. Происходит полное открывание триода и одновременное накапливание носителей на базе триода. По коллекторной цепи и, следовательно, по обмотке тора за счет действия основного импульса, подаваемого на базу, и действия неосновных носителей проходит коллекторный импульс, по длительности несколько больший, чем тактовый. В результате в момент окончания действия тактового импульса информация коллекторным импульсом переписывается на второй тор и т. д.

Схема без изменения моточных данных торов легко может быть превращена в двухходовую линию. Для этого необходимо нечетные торы питать от одного источника импульсов тока, а четные — от другого.

Если в рассмотренную линию задержки (рис. 33,*б*) включить конденсаторы *C* емкостью 0,025—0,5 *мкф*, то линия становится полностью одноходовой, работающая от одного источника тактовых импульсов и имеющая на каждую записываемую «1» по одному тору.

Данные схемы: триоды П6, $\beta_н \geq 20$; торы—ферритовые с размерами и электрическими параметрами, приведенными в примере расчета, число витков: обмотка *1*—35, *2*—5, *3*—5, *4*—30, $R_к = 62$ *ом*, $U_{к0} = 15$ *в*, $I_з \geq 100$ *ма*.

При работе в одноходовом режиме длительность тактовых импульсов должна быть не более 6—7 *мксек*, а длительность фронта — не более 2,5 *мксек*.

ПРИБОР ДЛЯ РАЗБРАКОВКИ МАГНИТНЫХ ТОРОВ

Сейчас весьма трудно назвать устройства, работающие с информацией, в которых не применялась бы электроника, а в последнее время и магнитные материалы (торы) с прямоугольной петлей гистерезиса. Последние из-за значитель-

ных преимуществ перед другими переключающими устройствами применяются в больших количествах, исчисляемых в аппаратуре десятками тысяч штук и в редких случаях — сотнями штук. Такое широкое применение торов требует создания приборов и автоматов для их проверки и сортировки.

Схема одного из таких приборов приведена на рис. 34. Прибор позволяет производить ручным способом ориентировочную проверку и сортировку торов как по коэффициенту перепада $K=\frac{U_{сигн}}{U_{пом}}$, так и по коэффициенту прямоугольности $p=\frac{B_r}{B_m}$. Для этого измеряем напряжение полезного сигнала $U_{сигн}$, получаемого при перемагничивании тора, и напряжение помехи $U_{пом}$, получаемое при отсутствии перемагничивающего действия. Коэффициенты K и p связаны между собой и с параметрами тора следующими уравнениями:

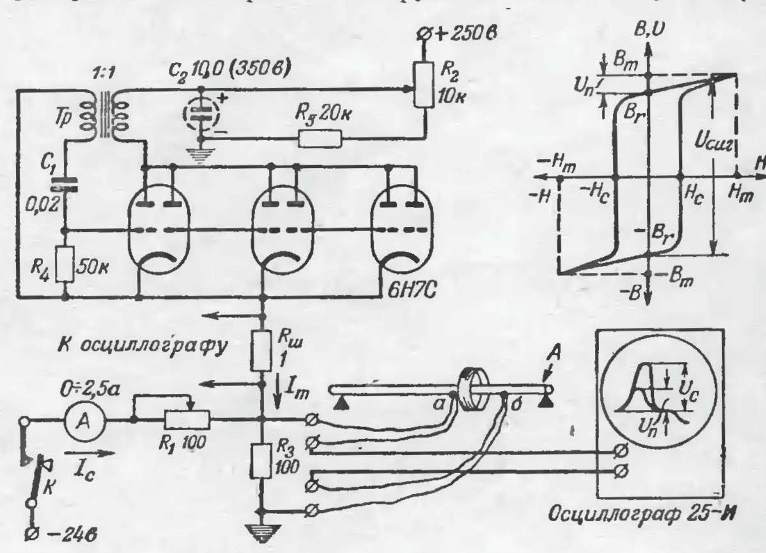


Рис. 34. Схема прибора для разбраковки магнитных торов на прямоугольность.

$$K=\frac{U_{сигн}}{U_{пом}}=\frac{1+p}{1-p}=\frac{B_m+B_r}{B_m-B_r}; \qquad (39)$$

$$p=\frac{K-1}{K+1}. \qquad (40)$$

Основой прибора является блокинг-генератор и осциллографический измеритель напряжений (осциллограф типа 25-И). В блокинг-генераторе работают три лампы 6Н7С, включенные параллельно и позволяющие получить импульсы тока до 5 *а*. Длительность импульсов, генерируемых блокинг-генератором, должна быть около 6 *мксек* для проверки ферритовых торов и порядка 20 *мксек* — для ленточных.

Разбраковка торов производится следующим образом: испытуемые торы нанизываются на медный стержень *А* ($d=$ $=1$—2 *мм*), являющийся обмоткой. С помощью зажимов «крокодил» к испытуемому тору в точки *а* и *б* присоединяются блокинг-генератор и осциллограф.

При нанизывании на медный стержень нескольких торов, для исключения влияния холостых торов на испытуемый, импульсы тока блокинг-генератора и тока подмагничивания пропускаются только под испытуемым тором.

Включаем ключ K. Устанавливаем по амперметру с помощью реостата R_1 ориентировочный ток подмагничивания I_c, необходимый для получения магнитного поля, соответствующего величине H_c:

$$I_c=\frac{H_c r_{cp}}{0,2}. \qquad (41)$$

Затем, измеряя напряжение на шунте $R_ш$, устанавливаем потенциометром R_2 ориентировочную величину импульса тока I_m, необходимую для получения полного перемагничивания тора при наличии подмагничивающего тока обратного направления:

$$I_m=\frac{H_m \cdot r_{cp}}{0,2}+I_c. \qquad (42)$$

После этого осциллографом измеряем амплитуду импульсов сначала при включенном подмагничивании $U_{сигн}$, а затем при выключенном подмагничивании $U_{пом}$. Отношение этих напряжений и будет отношением полезного сигнала к помехе, что и является основным параметром при конструировании схем на магнитных элементах.

ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА (БЛОКИНГ-ГЕНЕРАТОРЫ)

Питание схем с магнитными элементами в большинстве случаев осуществляется от блокинг-генераторов, которые за счет сильной обратной связи позволяют получить весьма большой ток импульса.

Одна из схем блокинг-генератора, работающая в авто-

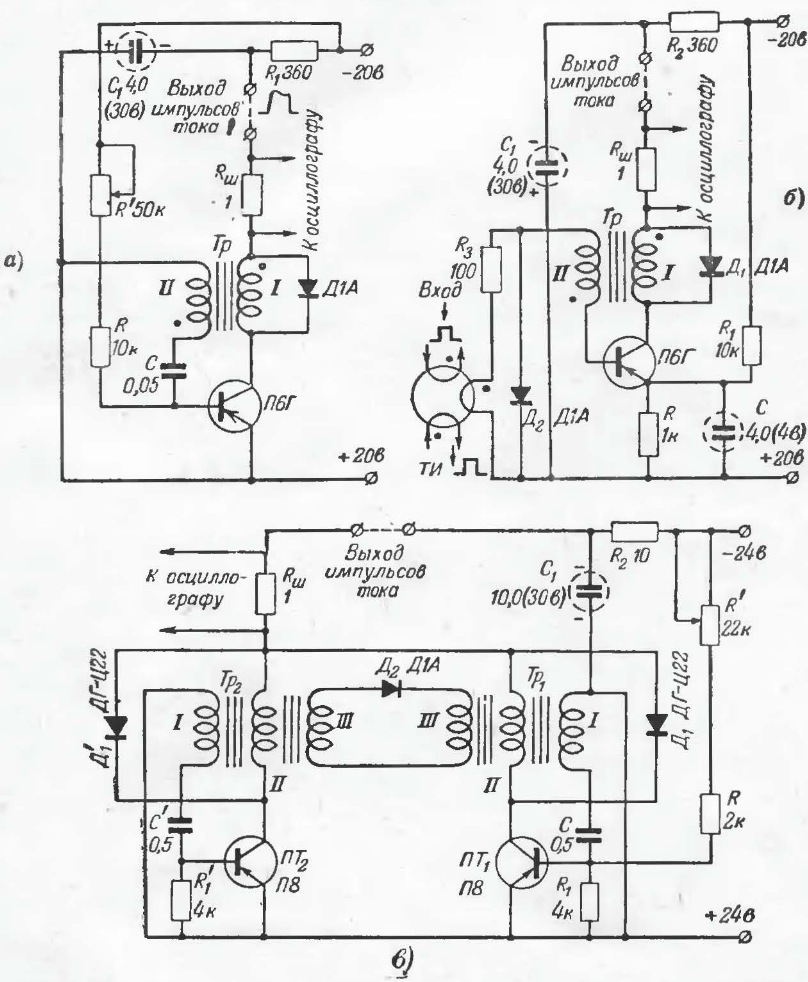


Рис. 35. Схемы блокинг-генераторов, работающих в автоколебательном режиме (*а*), ждущем режиме (*б*) и в режиме параллельной работы на общую нагрузку (*в*).

колебательном режиме, приведена на рис. 35,*а*. Схема может работать в ждущем режиме, а также в режиме синхронизации и деления частоты.

В ждущем режиме триод блокинг-генератора надежно заперт положительным напряжением смещения (внешним или автоматическим) порядка 0,5—1,5 *в*, подаваемым на базу, и открывается только тогда, когда приходит внешний запускающий импульс, который может быть подан или на базу (отрицательный), или на коллектор (положительный). Собственный период $T_{вых.соб}$ колебания блокинг-генератора, определяемый произведением RC, должен быть меньше периода $T_{вх}$ запускающих импульсов (рис. 36,*а*).

Практическая схема ждущего блокинг-генератора приведена на рис. 35,*б*. Запуск схемы осуществляется от отрицательных импульсов, получаемых с магнитного тора. Роль сопротивления R_3 и диода $Д_2$ — исключить обратное воздействие импульса тока, генерируемого во вторичной обмотке блокинг-трансформатора, на источник запускающих импульсов. Запирающее напряжение создается за счет протекания тока по потенциометру, составленному из сопротивлений R и R_1.

Схема синхронизированного блокинг-генератора та же, что и автоколебательного. Временные соотношения токов и напряжений в схеме приведены на рис. 36.

Диод $Д_1$ в этих и других схемах служит для демпфирования обратного выброса напряжения, возникающего по окончании блокинг-процесса в первичной обмотке трансформатора. Этот выброс, суммируясь с напряжением источника питания, мог бы вызвать перенапряжение на коллекторе триода и, следовательно, пробой последнего.

Обратный выброс при питании от блокинг-генератора одноходовых линий задержки может быть использован для управления ключевым триодом. Тогда вместо плюса диода включается эмиттер ключевого триода, а вместо минуса диода — база триода. Ключевая цепь торов подсоединяется к коллектору и эмиттеру триода.

Минимальная длительность импульсов тока, генерируемых блокинг-генератором (рис. 35,*а* и *б*), при применении триодов П1Ж, П6Г и в качестве трансформатора *Тр* оксиферового кольца диаметром 17/8 *мм*, $\mu = 1\,000$, число витков обмотки I—15 и обмотки II—20, составляет около 4—5 *мксек* при длительности фронта не менее 1,5—2 *мксек*. Максимальная частота повторений — около 20 *кгц*. Ампли-

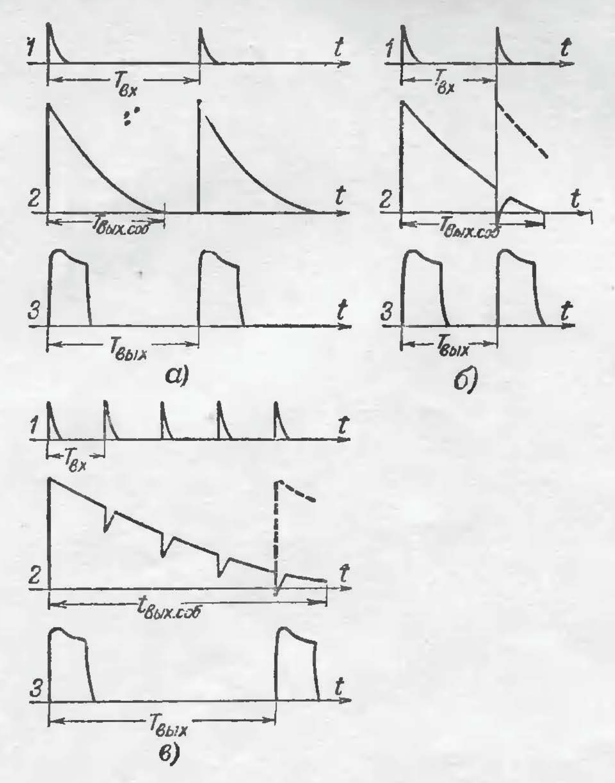


Рис. 36. Временные соотношения напряжений и токов в блокинг-генераторе, работающем в ждущем режиме (*а*), в режиме синхронизации (*б*) и режиме деления (*в*).

1 — напряжение запускающих или синхронизирующих импульсов; *2* — напряжение между базой и эмиттером триода блокинг-генератора; *3* — ток коллектора триода.

туда импульсов тока при $U_{к0} = 20$ *в* составляет около 0,5—0,7 *а*.

На основании экспериментальных исследований установлено, что большие токи не влияют на срок службы триода при условии, если средняя рассеиваемая мощность в триоде не превышает допустимую. Действительно, в полупроводниковом триоде нет никаких явлений, которые можно было бы сравнить с потерей эмиссии в электровакуумных лампах. Поэтому срок службы триода не меньше, а может быть даже больше в работе, чем когда триод бездействует,

Импульсную мощность $P_{и.рас}$, рассеиваемую триодом, и среднюю рассеиваемую мощность $P_{ср}$ можно определить по формулам

$$P_{и.рас} \simeq U_{нп} I_{к.и}; \qquad (43)$$

$$P_{ср} = P_{и.рас} \frac{t_{и}}{T_{п}} \leqslant P_{ср.доп}, \qquad (44)$$

где $U_{нп}$ — падение напряжения на коллекторе открытого триода;

$I_{к.и}$ — амплитуда коллекторного импульса тока;

$t_{и}$ — длительность импульса тока;

$T_{п}$ — период повторения импульсов;

$P_{ср.доп}$ — средняя допустимая мощность рассеяния триодом (обычно приводится в паспорте триода).

В тех случаях, когда ток импульса от одного блокинг-генератора недостаточен, можно производить объединение нескольких блокинг-генераторов. На рис. 35,*в* показаны два блокинг-генератора, работающих на триодах П8 и питающих общую нагрузку током более 5 *а*. Длительность генерируемых импульсов не менее 25 *мксек*, а длительность фронтов и спадов — не более 10 *мксек*. Максимальная частота повторения не более 5 *кгц*.

Данная схема может работать как в автоколебательном, так и ждущем режиме. В первом случае на базу триода $ПТ_1$ через времязадающие сопротивления R, R' подается минус источника питания (второй блокинг-генератор повторяет работу первого), во втором случае вместо минуса источника питания на базу триода $ПТ_1$ подаются запускающие импульсы отрицательной полярности, но при этом сопротивления R_1 и R_1' отсоединяются от плюса коллекторного источника питания и присоединяются к плюсу источника запирающего напряжения 1,5—2 *в*.

Запирающее напряжение может быть получено от этого же блокинг-генератора. Для этого на одном из трансформаторов делается дополнительная обмотка (около пяти витков). Получаемое на этой обмотке напряжение выпрямляется, фильтруется и используется для запирания. В этом случае блокинг-генератор фактически работает в режиме синхронизации.

Сердечники трансформатора $Тр_1$, $Тр_2$ изготовлены из оксифера $\mu = 2\,000$ и состоят из двух Ш-образных половин с зазором 1 *мм*. Сечение сердечника 7×7 *мм*. Обмотки: *I*—40 витков, *II*—105 витков, *III*—20 витков.

Спаренный блокинг-генератор позволяет одновременно переключать более 100 ферритовых торов диаметром 4 *мм*.

Недостатком применения в блокинг-генераторах низкочастотных триодов П3, П4 и П8 является недостаточно высокая крутизна фронтов и в то же время излишне большая длительность импульсов. В этом отношении лучшие результаты можно получить при применении этих триодов в качестве усилителей импульсов, сформированных блокинг-генераторами на высокочастотных триодах П1, П6. Включение усилительных триодов производится по схеме на рис. 6 (триод $ПТ_4$). Для уменьшения крутизны спада рекомендуется между базой и эмиттером усилительного триода включать сопротивление порядка 100 *ом* и индуктивность порядка 200—300 *мкгн*.

Такой способ формирования импульсов триодами П3, П4 и П8 позволяет получить амплитуду импульсов до 2—10 *а* ($U_{к0}$ =20—40 *в*) при длительности усиленных импульсов порядка 10 *мксек* (длительность фронтов не более 3—4 *мксек*).

При налаживании блокинг-генераторов следует иметь в виду следующее:

1. Период повторения импульсов увеличивается с увеличением произведения RC.

2. Длительность импульсов уменьшается с уменьшением числа витков на обмотках, емкости конденсатора C и сечения магнитопровода, а также при увеличении зазора в Ш-образных сердечниках.

3. Крутизна фронта импульса увеличивается с уменьшением числа витков на обмотках. То же происходит при применении высокочастотных триодов.

4. Амплитуда тока коллектора увеличивается при увеличении емкости C и коэффициента усиления триодов $\beta_к$.

РАЗБРАКОВКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Чтобы значительно упростить и ускорить налаживание переключающихся устройств, в которых в больших количествах применяются полупроводниковые приборы, необходимо произвести их разбраковку.

При всех расчетах рассмотренных ранее схем нам было необходимо знать:

Для триодов:

1) величину неуправляемого коллекторного тока $I_{к0}$ при заданном напряжении на коллекторе триода $U_к$;

2) величину неуправляемого эмиттерного тока $I_{э0}$. Этот ток необходимо измерять при применении триодов в схемах мультивибраторов, реактивных триггеров и блокинг-генераторов;

3) „ползучесть" неуправляемого тока коллектора и эмиттера $\Delta_{к0}$ и $\Delta I_{э0}$.

4) коэффициенты усиления $\beta_н$ и β;

5) наличие надежных контактов внутри триодов.

Для диодов:

1) величину тока утечки диода $I_{д0}$ при заданной величине обратного напряжения, прикладываемого к диоду;

2) „ползучесть" тока $I_{д0}$;

3) величину прямого сопротивления $R_{д.пр}$ в начале прямолинейного участка вольт-амперной характеристики диода;

4) наличие надежных контактов внутри диодов.

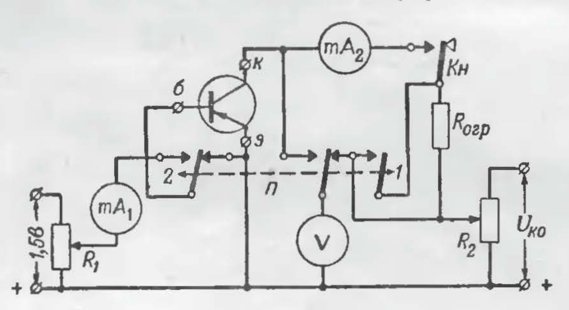


Рис. 37. Схема прибора для разбраковки диодов и триодов.

Наиболее просто такие данные можно получить при испытании триода или диода по приведенной на рис. 37 схеме. Испытуемый триод или диод подключается к соответствующим зажимам *к*, *б* и *э* (коллектор, база, эмиттер).

Для измерения токов $I_{к0}$, $I_{э0}$ и их „ползучести" переключатель *П* устанавливают в положение *1*. Далее по вольтметру *V* потенциометром R_2 устанавливают соответствующее напряжение $U_к$ и в момент нажатия кнопки *Кн* измеряют ток $I_{к0}$.

Величина тока $I_{к0}$ должна быть не больше того значения, которое указано в паспорте триода, с учетом пересчета для паспортного напряжения по формуле

$$I_{к0\,псп} \approx I_{к0} \frac{U_{к.исп}}{U_к}, \qquad (45)$$

где $I_{к0\,исп}$ — неуправляемый ток при испытуемом напряжении $U_{к.исп}$;

$I_{к0}$ и $U_к$ — паспортные значения тока и напряжения.

Затем, не отпуская кнопки *Кн*, в течение некоторого времени наблюдают за показанием тока $I_{к0}$, изменение которого во времени характеризует „ползучесть" триода. Если ток $I_{к0}$ со временем увеличивается, то триод **непригоден** для применения в переключающихся устройствах.

Ток $I_{э0}$ и его „ползучесть" измеряются так же, как и ток $I_{к0}$ (только при обратном включении триода).

Для измерения номинального коэффициента усиления переключатель *П* переводят в положение *2* и потенциометром R_2 устанавливают напряжение $U_к = U_п = 0{,}5$ *в*, а потенциометром R_1 — ток коллектора равным 1 *ма*. Отношение токов $I_к$ к $I_б$ и будет измеряемым коэффициентом $\beta_н$.

Измерение среднего коэффициента усиления β, знание которого необходимо при точных расчетах схем, производится тем же порядком, что и $\beta_н$, устанавливая при этом расчетные величины $U_п$ и $I_к$.

Определение надежности контактов внутри триода производится при нажатой кнопке $Кн_1$ путем легкого сотрясения триода и наблюдения за величиной тока $I_к$.

При измерении тока утечки диодов $I_{д0}$ „плюс" диодов подключается к зажиму *к*, а „минус" — зажиму *э*. Кнопка $Кн_1$ устанавливается в положение *1*. Далее по вольтметру потенциометром R_2 устанавливают необходимое обратное напряжение и замеряют значение $I_{д0}$ при нажатой кнопке $Кн_2$. Не отпуская кнопки $Кн_2$, наблюдают за „ползучестью" тока $I_{д0}$. Диоды, дающие увеличение со временем тока $I_{д0}$, для применения **непригодны**.

Ток утечки у германиевых диодов не должен превышать паспортных величин. Пересчет тока утечки для других напряжений производится по формуле (45).

При измерении прямого сопротивления диодов „плюс" диода подключается к зажиму *э*, а „минус" — к зажиму *к*. Ключ *П* устанавливается в положение *2*. Нажимая кнопку $Кн_2$, устанавливают по вольтметру потенциометром R_2 напряжение, равное 0,5 *в* для купроксных и германиевых плоскостных диодов и 1 *в* для германиевых точечных дио-

дов. Замеряют ток $I_{д.пр}$, протекаемый по диоду. Отношение показания вольтметра к току $I_{д.пр}$ и будет измеряемой величиной $R_{д.пр}$.

В качестве приборов mA_1 и mA используются микроамперметры типа М494 на 100 *мка* с набором шунтов до 100 *ма* для проверки триодов П1, П6 и до 1 *а* для триодов П3, П4 и П8. В качестве вольтметра желательно применять прибор с сопротивлением 10—20 *ком/в*.

ПРИМЕР КОМБИНИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И МАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКЕ

В заключение рассмотрим пример применения переключающихся ячеек в устройствах управления по радио движущимися моделями.

Очевидно, что для управления необходимы каналы связи, по которым передаются команды — сигналы управления. Чем сложнее управление моделью, тем больше их требуется, поэтому для их передачи чаще всего применяют многоканальные линии радиосвязи.

Сущность работы многоканальной линии передачи заключается в том, что на передающем конце сигналы всех каналов предварительно группируются и затем передаются одним передатчиком в эфир. На приемном конце эту группу сигналов, получаемых на выходе приема, необходимо разделить по соответствующим каналам. При этом должна быть обеспечена возможность передачи команд вне зависимости от того, ведется ли передача команд по другим каналам или нет.

Существует несколько способов группирования и разделения каналов. Из них наиболее распространенными являются частотный и временной способы разделения каналов, из которых последний более прост в техническом отношении.

На рис. 38 показан принцип осуществления такой связи через один радиопередатчик (электромеханический вариант).

Передающая сторона имеет ряд датчиков команд $ДК_1$, $ДК_2$ и $ДК_3$, сигналы с которых поступают в линию радиосвязи через стартстопный коммутатор — распределитель K_1 поочередно. Для каждого датчика команд отводится некоторое время, определяемое числом датчиков и скоростью вращения коммутатора. Эта часть времени соответствует дли-

тельности прохождения щеток вращающегося устройства по контактам данного датчика.

На приемной стороне линия включена в распределитель K_2, вращающийся синхронно с распределителем K_1 передающей стороны. Следовательно, в момент прихода сигнала от датчика *1* линия будет присоединена к контакту приемного

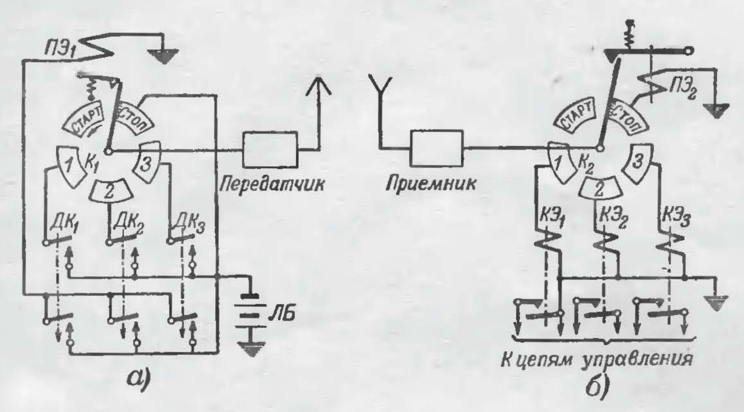


Рис. 38. Схема, поясняющая принципы временного разделения каналов и стартстопного корректирования фазы распределителей.

а — передающая станция; *б* — приемная станция.

распределителя *1*, в момент прихода сигнала от датчика *2* — к контакту *2* и т. д.

Синхронное вращение распределителей на передающей и приемной стороне осуществляется методом стартстопной коррекции, сущность которого заключается в следующем. Когда оператор нажимает один из датчиков, то одновременно замыкается цепь пускового электромагнита $ПЭ_1$, который, притянув якорь, освобождает щетку передающего распределителя, и последняя начинает вращаться.

В течение этого оборота в линию последовательно будут посланы стартовый (бестоковый) импульс, три кодовых импульса от датчиков команд и стоповый (токовый) импульс. Под действием стартового импульса ток в пусковом электромагните $ПЭ_2$ прекратится, его якорь поднимется и щетка приемного распределителя начнет вращаться. При вращении щетки к приемнику последовательно будут подключены через контакты *1—3* командные электромагниты *КЭ*. В конце оборота под действием стопового импульса приемный распределитель остановится, и накопившееся в течение одного

оборота расхождение по фазе будет устранено. Следующий оборот оба распределителя начнут снова в одинаковой фазе.

Практически за один оборот распределителя оператор успевает посылать только одну команду. Поэтому возможно применить способ кодирования, сущность которого заключается в том, что для каждой команды отводится определенная комбинация последовательности импульсов. Для рассмотренного выше случая последовательность импульсов будет состоять из двух служебных импульсов (стартовый и стоповый) и трех кодовых, находящихся между собой в любом

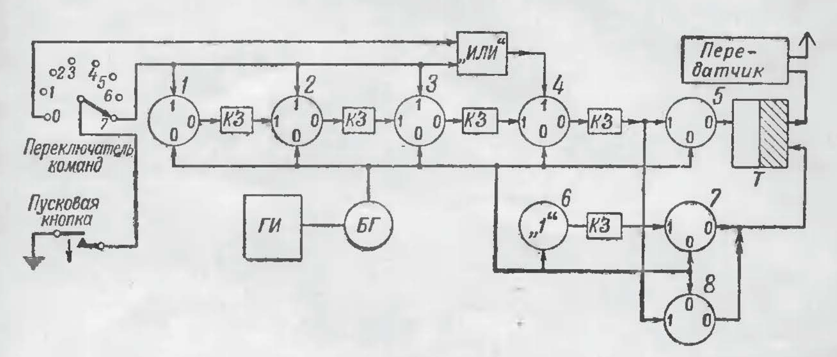


Рис. 39. Блок-схема управления движущимися моделями (передающая часть).

возможном временном сочетании. При наличии трех кодовых импульсов можно получить $2^3=8$ комбинаций. При наличии четырех кодовых импульсов можно получить $2^4=16$ комбинаций и т. д.

В приемной части каждая комбинация с помощью специальной схемы — дешифратора расшифровывается, т. е. последовательность принятых импульсов преобразовывается в один импульс, выдаваемый только на одном из выходов дешифратора. Для комбинаций, состоящих из трех кодовых импульсов, дешифратор должен иметь восемь выходов, на которых и получаются соответствующие команды.

Блок-схема электронного варианта передающей части устройства изображена на рис. 39. Она состоит из переключателя команд, пусковой кнопки, кодовых торов *1*, *2* и *3*, тора *4*, записывающего пусковой импульс (стартовый), схемы обратного кода (торы *5*, *6*, *7* и *8*), выходного триггера *Т*, модулирующего работу радиопередатчика импульсами постоянного тока, генератора импульсов *ГИ* (мультивибратор)

и ждущего блокинг-генератора *БГ*, продвигающего информацию из одного тора в другой.

Передающее устройство рассчитано на передачу восьми команд. Каждая команда передается последовательностью импульсов, представляющих двоичное число, которое состоит из четырех разрядов, например, команда № 6—1101, где первый разряд является пусковым, а последующие три — кодовыми.

В двоичной системе счисления такую последовательность импульсов принято называть последовательным кодом. Код чисел для восьми команд приведен в табл. 1.

Таблица 1

Номера команд	Кодовые импульсы			Пусковой импульс	Номера команд	Кодовые импульсы			Пусковой импульс
	Номера разрядов					Номера разрядов			
	4	3	2	1		4	3	2	1
0	0	0	0	1	4	1	0	0	1
1	0	0	1	1	5	1	0	1	1
2	0	1	0	1	6	1	1	0	1
3	0	1	1	1	7	1	1	1	1

Передающее устройство работает следующим образом. Допустим, надо послать команду № 7. Устанавливаем переключатель команд в седьмое положение. Нажимаем пусковую кнопку и согласно табл. 1 записываем в тор *4* «1» первого разряда, в тор *3* «1» второго разряда кода, в тор *2* «1» третьего разряда и в тор *1* «1» четвертого разряда. Запись «1» осуществляется за счет подмагничивания указанных торов от источника питания до величины $2B_m$, если намагничивание, создаваемое током тактовых импульсов, равно B_m.

При отпускании пусковой кнопки тактовые импульсы будут выталкивать импульсы, записанные в линии задержки, в схему получения обратного кода. В схеме обратного кода импульсы с выхода тора *7* переключаются на выход тора *5* и переключают триггер на все время посылки четырех импульсов. На вход передатчика поступят подряд четыре импульса. По окончании кодовых импульсов триггер возвратится в исходное состояние.

Частота задающего генератора *ГИ* должна быть выбрана такой, чтобы без дополнительных устройств блокировки пу-

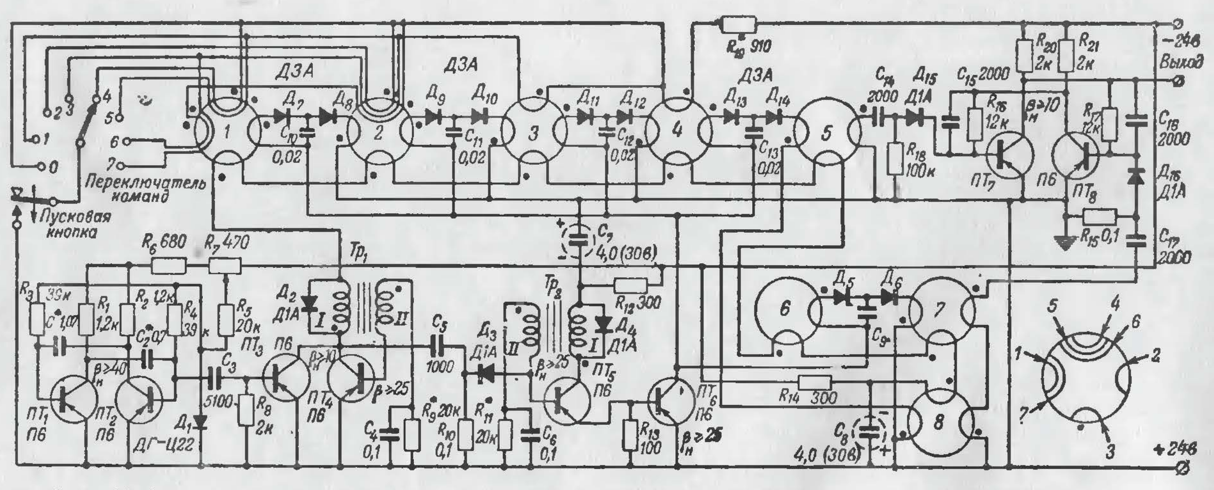


Рис. 40. Принципиальная схема передающего устройства управления движущимися моделями.

сковой кнопки оператор не успевал перекрывать одну команду другой. При четырех импульсах, передаваемых за один цикл работы передающего устройства, частота задающего генератора должна быть выбрана не менее 25 *гц*. Длительность каждого импульса при частоте 25 *гц* составит 40 *мсек*, а количество передаваемых команд в минуту — 300 (при условии отделения одной комбинации от другой временным промежутком, равным длительности одного импульса), ко-

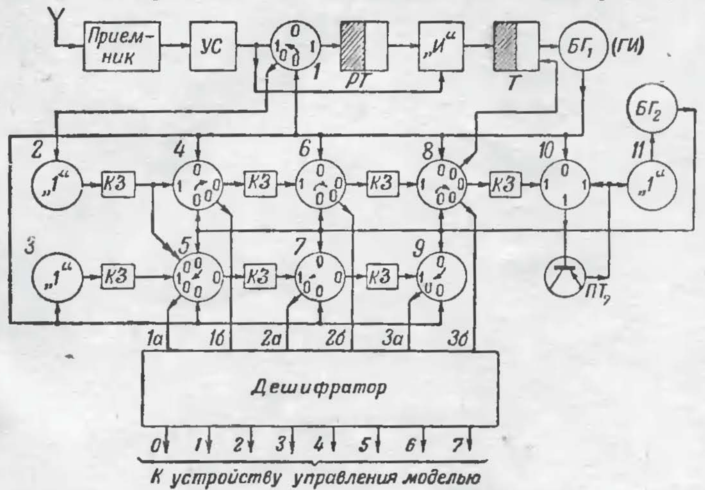


Рис. 41. Блок-схема управления движущимися моделями (приемная часть).

торый, по существу, является стоповым.

Для этой скорости передачи команд достаточен весьма узкий канал связи порядка 40—50 *гц*. При таком узком канале связи обеспечивается весьма высокая помехозащищенность.

Принципиальная схема передающего устройства изображена на рис. 40. Отличительная особенность этой схемы по сравнению с рассмотренной на стр. 46 состоит в том, что ключевой триод $ПТ_6$ в исходном состоянии закрыт и открывается мощным импульсом тока от ждущего блокинг-генератора (триод $ПТ_5$), срабатывающим от спада тактовых импульсов, генерируемых блокинг-генератором $БГ_1$ (триод $ПТ_4$). Такое включение триодов типа П1 и П6 позволяет одновременно переключать до 50—70 торов.

Блок-схема приемной части изображена на рис. 41. Она состоит из усилителя сигналов *УС*, тора *1*, преобразующего

импульсы постоянного тока в короткие импульсы, реактивного триггера *РТ*, осуществляющего запуск приемного устройства в середине стартовой посылки, схемы «И», которая совместно с реактивным триггером исключает запуск приемного устройства импульсами помех, имеющими длительность меньше длительности импульса, генерируемого реактивным триггером; триггера *Т*, управляющего блокинг-генератором $БГ_1$. Последний служит для продвижения информации вдоль линии задержки. Далее, схемы обратного кода (основанной на компенсации магнитного потока) — торы *2*, *3*, *4* и *5*. Датчик «1» — тор *2* служит для гальванической развязки между тором *1* и контуром задержки *КЗ*. Линия задержки прямого кода состоит из торов *6*, *8* и *10*. В нее также входит и тор *4*. Линия задержки обратного кода — торы *5*, *7* и *9*. Блокинг-генератор $БГ_2$, сбрасывающий (по окончании цикла работы приемной части) информацию с линий задержек прямого и обратного кода в дешифратор, преобразуя тем самым последовательный код в параллельный, при котором импульсы распределены только в пространстве. Тор *11* — датчик «1» служит для гальванической развязки между блокинг-генератором $БГ_2$ и усилительным триодом $ПТ_7$ и, наконец, последний элемент схемы — дешифратор — служит для преобразования двоичного кода, поступающего в приемную часть, в десятичный код. Иначе говоря, сигнал на выходе дешифратора появляется только на одном из его восьми выходах соответственно принятой комбинации. Этот сигнал управляет тем или другим механизмом движущейся модели.

На блок-схеме рис. 41 новым обозначением является стрелка внутри тора, которая означает, что сигнал на данном выходе, указываемом стрелкой, появляется только тогда, когда появится управляющий сигнал на входе, относящийся к данной стрелке.

Работа приемного устройства происходит следующим образом. Допустим, с выхода приемника принята команда № 4. Тогда с приходом первого стартового импульса триод усилителя открывается и коллекторным током триода переключается тор *1*, который до этого находился в состоянии «0» под действием подмагничивающего тока. Возникающее в выходной обмотке тора напряжение запускает реактивный триггер *РТ*.

Как только *РТ* возвратится в исходное состояние, с его выхода в схему «И» поступит короткий импульс, задержанный на половину длины стартового импульса. Если при

этом импульс тока на входе усилителя не исчез, т. е. это был не ложный импульс, то на выходе схемы «И» появится сигнал, который переключит триггер *T*.

Последний запустит блокинг-генератор $БГ_1$, который начнет генерировать импульсы с частотой импульсов, поступающих на вход приемного устройства, до тех пор, пока триггер не возвратится в исходное состояние.

В момент первого срабатывания $БГ_1$ тор *1*, переключаясь в состояние «0», пошлет в тор *4* переключающий, а в тор *5* запрещающий сигналы. Поскольку следующий импульс, приходящий из приемника, является бестоковым, то в момент второго срабатывания $БГ_1$ «1» перепишется из тора *4* в тор *6* и запишется в тор *5* и т. д.

После прихода четвертого импульса с выхода приемника и четвертого тактового импульса от $БГ_1$ переключатся торы *4*, *10* прямого кода и *7*, *9* обратного кода. В момент переключения тора *8* четвертым тактовым импульсом триггер *T* переключается в исходное состояние и запирает блокинг $БГ_1$. Одновременно с этим через тор *10* и триод $ПТ_7$ поступает сигнал в датчик «1» (тор *11*). От спада этого сигнала срабатывает блокинг-генератор $БГ_2$, который переводит все торы в исходное состояние и включает выходы с соответствующих линий задержки прямого и обратного кода и тем самым передает информацию в виде параллельного кода в дешифратор.

На этом цикл работы приемной части заканчивается, и схема готова к приему следующей комбинации.

Принципиальная схема приемной части приведена на рис. 42, а моточные данные обмоток торов — в табл. 2.

Схема дешифратора приведена на рис. 43. В исходном состоянии все десятичные выходы зашунтированы на минус источника питания диодами через обмотки входных торов. Назначение торов — развязать гальваническую связь между дешифратором и выходом приемной части.

Работа дешифратора происходит следующим образом. Предположим, что на двоичный вход поступила комбинация импульсов четвертой команды, т. е. с линии задержки прямого кода подан импульс на вход *1б*, а с линии задержки обратного кода — на входы *2а* и *3а*. Тогда импульсы напряжения, возникающие во вторичных обмотках входных торов, закроют диоды, относящиеся к вертикальной линии четвертого выхода. На этом выходе появится короткий импульс положительной полярности, который затем поступает в устройства управления моделью, в качестве которых могут

быть использованы триггеры с усилительными триодами (рис. 6).

Для усиления импульсов при коммутации токов до 0,1 *а* следует применять триоды П1 или П6, а при токе свыше 0,1 *а* (например, при коммутации цепей электродвигателей) — триоды П3, П4 или П8.

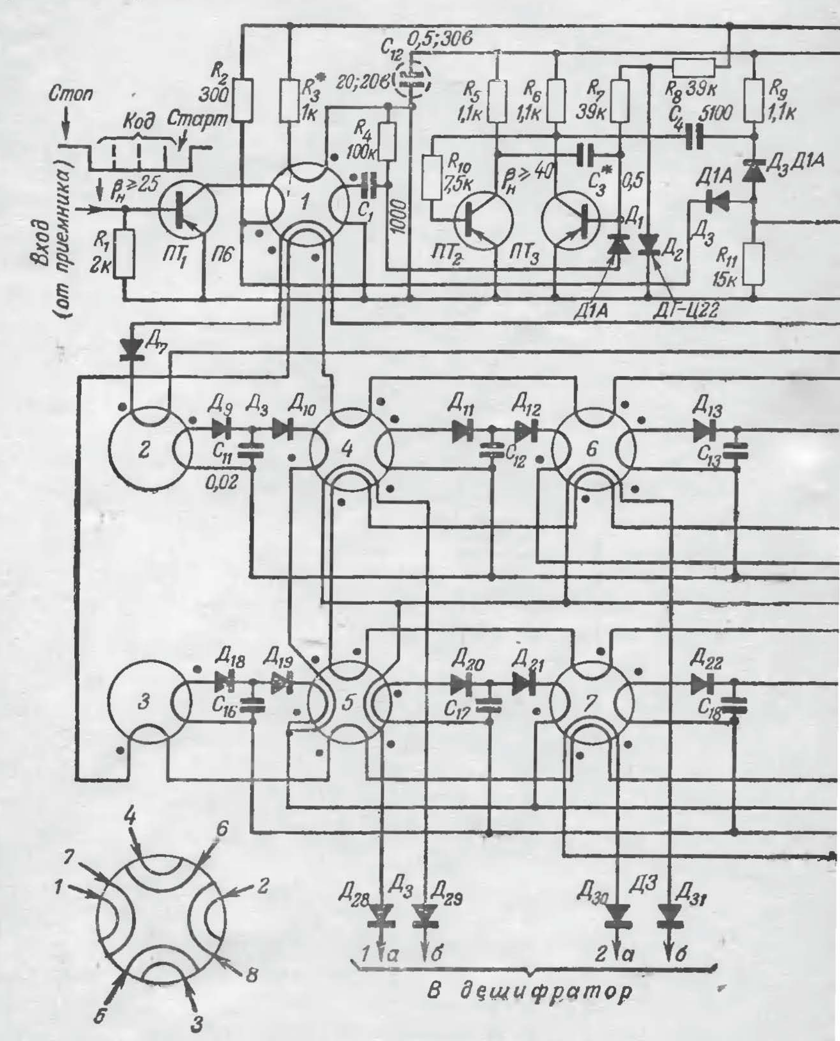
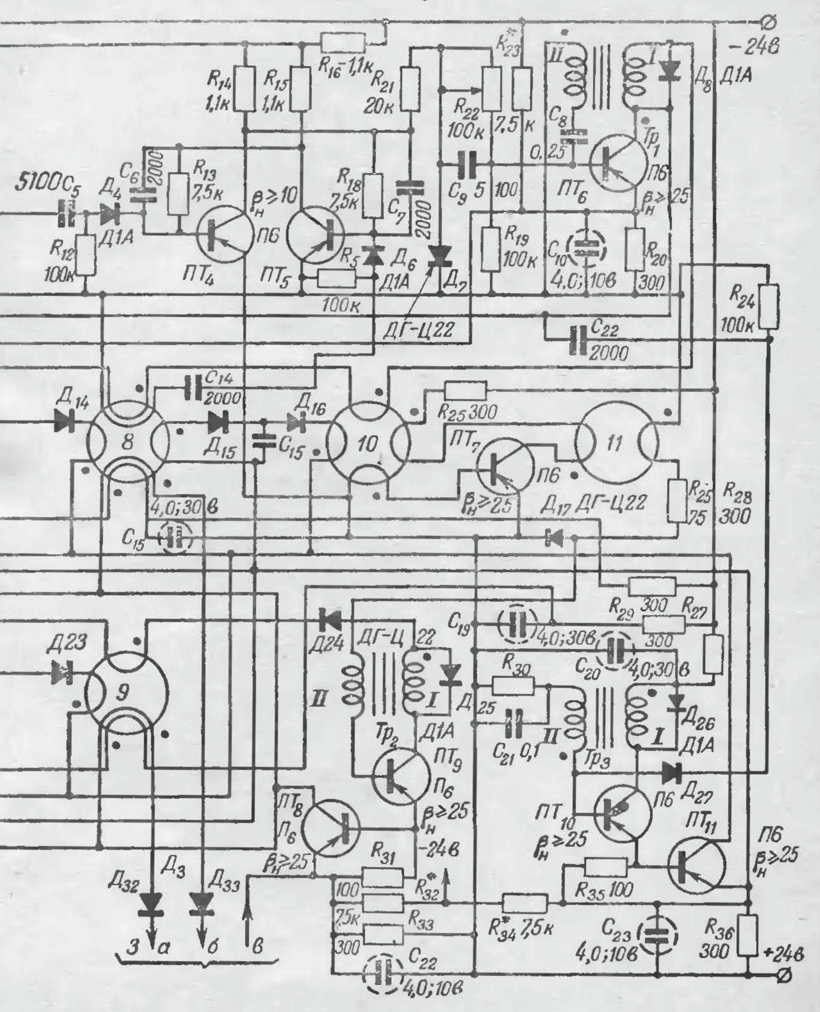


Рис. 42. Принципиальная схема приемного устройства

Схемы дешифраторов могут быть собраны как на диодах, так и на триодах и магнитных элементах.

Триггеры устройства управления моделью могут иметь связь как с дешифратором, так и между собой. Эти связи позволяют триггерам, управляющим соответствующими устройствами модели, переключиться в исходное состояние не за счет посылки соответствующей команды, а за счет им-



управления движущимися моделями.

Таблица 2

Тор или трансформатор	Материал	Число витков в обмотках								Провод
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Передающая часть										
1	Феррит[1]	40	60	10	40	40	—	40	—	ПЭВ 0,07
2	То же	40	60	10	40	40	40	—	—	То же
3,4	То же	40	60	10	40	—	—	—	—	ПЭВ 0,12
5,7,8	То же	40	60	10	—	—	—	—	—	То же
6	Оксифер (μ=2 000, d = 7/4 *мм*)	—	60	10	—	—	—	—	—	ПЭВ 0,18
Tp_1, Tp_2	Оксифер (μ=1 000, d = 12/5 *мм*)	60	120	—	—	—	—	—	—	То же
Приемная часть										
1	Феррит	40	20	10	80	50	—	—	—	ПЭВ 0,07
4,6,7	То же	40	60	10	10	50	—	—	—	То же
8	То же	40	60	10	10	50	20	—	—	То же
5	То же	40	60	10	10	—	—	40	50	То же
9	То же	40	—	10	10	50	—	—	—	ПЭВ 0,12
10	То же	40	10	7	10	—	—	—	—	То же
2	Оксифер (μ = 2 000, d=7/4 *мм*)	—	60	—	25	—	—	—	—	ПЭВ 0,18
11	То же	40	40	—	—	—	—	—	—	То же
Tp_1, Tp_2, Tp_3	Оксифер (μ = 1 000, d=12/5 *мм*)	60	120	—	—	—	—	—	—	ПЭВ 0,18
Дешифратор										
1*а*,*б*÷3*а*,*б*	Оксифер (μ = 2 000, d = 7/4 *мм*)	25	60	—	—	—	—	—	—	ПЭВ 0,18

[1] Электрические параметры и размеры даны в примере расчета.

пульсов, поступающих по внутренним связям от других триггеров при их срабатывании. Варианты внутренних связей зависят от требований, предъявляемых к той или другой управляемой модели.

Настройка передающего и приемного устройств сводится лишь к установке одинаковой частоты между задающим генератором передающей части и блокинг-генератором $БГ_1$ приемной части. Для этого необходимо первоначально по

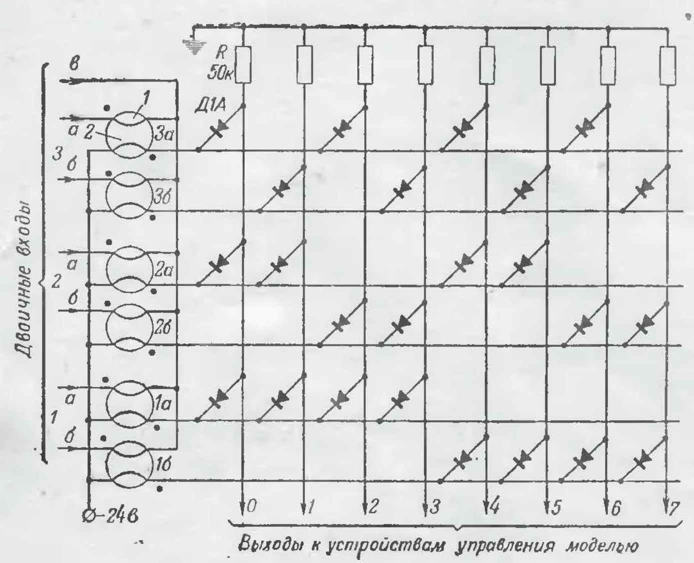


Рис. 43. Схема дешифратора

эталонному генератору (например, типа ЗГ-2) и осциллографу установить частоту мультивибратора 25 *гц* (регулируя потенциометр R_7). После этого периодически посылаем команду № 4 при одновременном изменении частоты $БГ_1$ приемного устройства (вращая ручку потенциометра R_{22}) и находим пределы, при которых команда будет появляться на четвертом выходе дешифратора. Затем устанавливаем потенциометр в середину найденного предела его изменения.

Слабым местом в рассмотренном устройстве является недостаточная стабильность частоты блокинг-генератора $БГ_1$ приемного устройства при изменении напряжения источника питания. Однако этот недостаток не столь существенен, так как под частоту $БГ_1$ в случае ее ухода во время работы можно легко подстроиться изменением частоты задающего генератора передающего устройства.

Приемное и передающее устройства устойчиво работают при напряжении 24±8 *в*. Потребляемая мощность каждым устройством около 0,7 *вт*.

Если число передаваемых команд окажется недостаточным, их можно увеличить за счет увеличения числа кодовых импульсов. Но при этом потребуется удлинять время передачи каждой команды и повышать частотную стабильность задающих генераторов. При уменьшении времени передачи каждого импульса (чтобы сохранить прежним общее время передачи одной команды) будут ухудшаться условия прохождения импульсов в канале связи. Однако увеличение кодовых импульсов до 5—6 и повышение частоты до 60—70 *гц* вполне допустимо.

Есть другой способ увеличения числа передаваемых команд, который не требует укорачивания импульсов. Этот способ основан на применении так называемого регистрового кода, сушность которого состоит в том, что на передающей станции из имеющихся датчиков команд два датчика отводятся под регистровые комбинации. В этом случае все комбинации делятся на две части: на основные и вспомогательные, например так, как это сделано в пишущих машинках, где для отпечатывания заглавных букв необходимо прежде нажать соответствующий регистр. Аналогично и в электронном устройстве, чтобы передать, например, команды, относящиеся к вспомогательным, посылаем прежде регистровую комбинацию.

На приемном конце регистровые комбинации дешифруются и при получении одной из них, например первой, в местных цепях добавляется кодовый импульс, а от второй этот импульс выключается. В результате этого получаем как бы один дополнительный кодовый импульс. Тогда при трех кодовых импульсах, фактически посылаемых в линию, получим $2^{3+1}-2^2=12$ комбинаций. При четырехзначных комбинациях получим $2^{4+1}-2^2=28$ комбинаций и т. д.

К числу достоинств регистрового кода следует также отнести то, что на каждые две команды необходимо иметь только один датчик, который на одном регистре будет посылать одну команду, а на другом — другую.

Регистровый способ увеличения количества передаваемых команд по каналу связи практически себя хорошо зарекомендовал.

Цена 1 р. 85 к.